

Министерство образования и науки РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Ярославский государственный технический университет»

**Шестьдесят седьмая всероссийская  
научно-техническая конференция  
студентов, магистрантов и аспирантов  
высших учебных заведений  
с международным участием**

Электронный сборник  
тезисов докладов

Часть 1

Ярославль 2014

УДК 378:001.891

ББК 74.58

Ш51

Текст воспроизводится по изданию: **Шестьдесят седьмая региональная научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием.** 23 апреля 2014 г., Ярославль. Ч. 1 : тез. докл. – Ярославль : Изд-во ЯГТУ, 2014. – 452 с.

ISBN 978-5-9914-0364-1 (ч. 1)

ISBN 978-5-9914-0363-4

**Ш51 Шестьдесят седьмая региональная научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием.** 23 апреля 2014 г., Ярославль. Ч. 1 : тез. докл. [Электронный ресурс]. – Ярославль : Изд-во ЯГТУ, 2014. – 452 с.

ISBN 978-5-9914-0372-6

В первую часть сборника вошли материалы, представляющие результаты научно-исследовательской деятельности студентов, аспирантов и магистрантов в области химии и химической технологии, машиностроения, автоматизации, физико-математических наук, промышленной экологии, энергетических машин и транспорта, строительства.

УДК 378:001.891

ББК 74.58

Редакционная коллегия: И.Г. Абрамов, М.А. Абрамова,  
И.В. Голиков, Т.В. Ключева.

ISBN 978-5-9914-0372-6

© Ярославский государственный технический университет, 2014

## ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК 665.63(091)

### **РОЛЬ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА В СТАНОВЛЕНИИ И РАЗВИТИИ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**А.А. Ветров, Е.Ю. Отращенко**

Научный руководитель – Ю.А. Москвичев, д-р хим. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

*Посвящается 180-летию со дня рождения Д.И. Менделеева*

Д.И. Менделеев – известный русский ученый-химик, автор периодического закона химических элементов, сыграл выдающуюся роль в становлении нефтеперерабатывающей промышленности России. Он исследовал процесс перегонки нефти, изучал перегон нефти в чугунном кубе с водяным паром и в 1882 году впервые ввел куб непрерывного действия, разработал технологию получения тяжелых осветительных масел, изучал конструкции нефтеперерабатывающих аппаратов, проектировал завод в Нижнем Новгороде, изучал физико-химические свойства различных фракций перегонки нефти.

По просьбе Русского технического общества Д.И. Менделеев читал лекции о нефтяном производстве в России, выпустил в 1887 году книгу «Нефтяная промышленность Северной Америки (штат Пенсильвания) и на Кавказе», в которой отметил высокий уровень механической оснастки НПЗ Америки, который сочетался с низким уровнем перегонки и несовершенством перегонных аппаратов. Сделал сообщение о новом способе дробной перегонки нефти.

Д.И. Менделеев изучал экономику развития нефтяной отрасли и размещения НПЗ в России. Он активно сотрудничал с «Товариществом нефтяного производства» братьев Нобелей – «Бранобель», созданным в 1879 году, и с первыми русскими нефтепромышленниками, полемизировал с Нобелями по вопросу размещения заводов.

Благодаря такой творческой, слаженной работе Дмитрия Ивановича, Нобелей и русских промышленников уже в 1883 году в Россию прекратился импорт керосина, а в 1898 году Россия вышла на первое место в мире по нефтедобыче.

В 1896 году Русское техническое общество попросило Д.И. Менделеева войти в комиссию по присуждению премии им. Л.Э. Нобеля.

В 1900 году Д.И. Менделеев был приглашен в качестве почетного представителя Первого Интернационального Нефтяного Конгресса.

Жизнь Дмитрия Ивановича Менделеева интересна не только для историков, ученых-химиков и промышленников, но и для простого обывателя.

## ИННОВАЦИОННЫ ЛИ НАНОТЕХНОЛОГИИ?

**Е.А. Индейкин**, канд. хим. наук, профессор

*Ярославский государственный технический университет*

Многие современные технологии, которые называют «инновационными», на самом деле хорошо забытые старые. В отношении нанотехнологий произошло лишь переименование, связанное с объединением под одно понятие целой серии давно известных, но и, конечно новых технологических приемов и технологий.

Золи серебра, золота, меди умели получать в начале прошлого века. Размеры частиц дисперсной фазы этих золей четко попадали в границы размеров, позволяющие отнести эти системы к продуктам нанотехнологии. Сейчас эти объекты являются предметами многочисленных исследований и в высокой степени коммерциализованы. Тем не менее, исследования в этой области интенсивно продолжаются, в том числе на кафедре Химической технологии органических покрытий (ХТОП) ЯГТУ. Аспирантами А.В. Соловьевым и И.Е. Грачевой разрабатываются бактерицидные композиционные материалы, содержащие в составе наночастицы серебра и меди.

Берлинский химик Дисбах в 1704 получил пигмент с размерами частиц менее 50 нм (вполне, в результате нанотехнологии), который в настоящее время называется в нашей стране железная лазурь. Исследования, направленные на управление размерами, формой и свойствами поверхности частиц этого пигмента продолжались многие годы в ряде стран. Одна из серьезных работ в области совершенствования синтеза этого пигмента выполнена немецким аспирантом Андреасом Гебхардтом на кафедре ХТОП в 1992 году. В результате использования специального реакционного устройства и поверхностно-активных модификаторов разработан метод получения железной лазури с заданными размерами частиц в нанодиапазоне, что дало возможность регулирования технических свойств этого пигмента, прежде всего, оптических.

Давно реализована в промышленности химическая сборка поверхности твердых тел молекулярным наслаиванием. Технологии, основанные на формировании на поверхности частиц твердого тела функциональных слоев толщиной от единиц до десятков нанометров, более тридцати лет являются предметом исследования и разработки материалов различного назначения. Так кафедрой ХТОП совместно с кафедрами общей и неорганической химии в 1980 году был разработан активатор вулканизации, частицы которого представляют собой ядро из талька или диоксида кремния с тонкой оболочкой оксида цинка. Такой продукт был получен методом механохимической прививки материала оболочки к поверхности ядра в водной дисперсии. Механохимическая прививка малых

количеств химических соединений на поверхности носителя, но в потоке воздуха реализуется на малом предприятии на кафедре ХТОП.

Пигменты для полимерных композиционных материалов и покрытий, для крашения полимеров в массе, полиграфической промышленности и др., состоящие из ядра и тонкой оболочки, называют керновыми. Разработка таких пигментов давно входит в сферу научных интересов кафедры ХТОП. Аспирантом этой кафедры И.А. Шубениным разработаны керновые пигменты, предназначенные для противокоррозионных полимерных покрытий. Пигменты представляют собой ядро гетита ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) с тонкой оболочкой из комплексов железа с различными лигандами. Интересным результатом работы является то, что было установлено повышение противокоррозионной активности таких пигментов при уменьшении эффективной толщины оболочки до 30 нм. Создано малое инновационное предприятие», занимающееся производством и реализацией продукции на основе таких пигментов.

Разрабатываются водные дисперсии полимеров, частицы дисперсной фазы, которых также состоят из полимерного ядра и полимерной или олигомерной оболочки. Старший преподаватель кафедры ХТОП О.С. Староверова разработала водные дисперсии полиакрилатов, частицы которых имеют оболочку эпоксиэфира. Это придает покрытиям, сформированным из таких дисперсий способность химически сшиваться на поверхности. Кандидат химических наук В.Г. Курбатов и аспирантка Н.В. Кочкина разрабатывают серию таких дисперсий на основе полиакрилатов и полианилина.

Примеров исследований в лакокрасочной отрасли и, соответственно, на кафедре ХТОП ЯГТУ, касающихся наноматериалов и нанотехнологий, можно привести множество. Фактически всё, связанное с технологией получения наполненных материалов, предназначенных для нанесения тонких адгезированных плёнок и их формированием на поверхности, так или иначе, имело и имеет дело с наноразмерными объектами и явлениями. Большинство органических пигментов и многие неорганические пигменты и наполнители наноразмерны. Их высокая удельная поверхность, причем увеличивающаяся в процессе получения материала, требует учета совокупности адсорбционных явлений. При формировании многослойных покрытий чаще всего в результате сложных химических и физико-химических процессов образуются наноразмерные переходные слои с особыми свойствами. Всё это приводит к тому, что технология лакокрасочных композиционных материалов и покрытий относится к наукоемким технологиям.

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС СССР 1950-1980-х ГОДОВ:  
ПО МАТЕРИАЛАМ ПОЧТОВЫХ МАРОК**

**К.В. Оксем, А.Н. Румянцев, Е.Ю. Вавилова**

Научный руководитель – Е.Ю. Вавилова, канд. филос. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

На протяжении 1950-1980-х годов КПСС проводила активную политику в сфере идеологии. В изучении идеологической тематики есть важный аспект – это устойчивость идеологем, их привлекательность с точки зрения политики, пропаганды, социальной психологии. Демонстрация мощи СССР в сфере научно-технического прогресса являлась отдельным направлением идеологической работы. Научно-техническое превосходство Советского Союза пропагандировалось с помощью разнообразных средств и методов. Одним из таких средств было распространение почтовых марок одновременно с другими формами наглядной пропаганды (кинофильмами, плакатами). Стоит также отметить, что в это время филателия была широко популярна и как личное увлечение, хобби.

Все идеологические установки СССР послевоенного времени можно разделить на те, которые были сформированы еще в довоенные годы; более новые, возникшие в связи с победой в Великой Отечественной войне; появившиеся в период «холодной войны». Каждый из этих периодов имел свою специфику в отображении темы научно-технического прогресса.

Первые были ориентированы на демонстрацию роли классовой борьбы как локомотива истории. Признавалась неизбежность перехода от одной общественно-экономической формации к другой, более прогрессивной, и утверждение коммунистического строя как вершины развития. Формировалось убеждение, что роль КПСС является прогрессивной для всех сторон развития страны, подчеркивалось идейное единство советского народа. С другой стороны, мир после 1945 года оказался разделен на два лагеря с диаметрально противоположной идеологией, где СССР и страны социалистического содружества позиционировались как гаранты миролюбивой внешней политики. Подчеркивались дружба и солидарность трудящихся, стремящихся как можно быстрее восстановить народное хозяйство и вывести его на новые рубежи. Необходимо было показывать трудовой героизм, упорство и настойчивость советских людей в преодолении трудностей послевоенного времени. Активизировалась тема профсоюзов, иных специальных производственных и научных сообществ, обеспечивавших прогрессивное развитие отдельных отраслей народного хозяйства: промышленности, сельского хозяйства, транспорта, здравоохранения, образования. Выдвигается тезис о важной производственной роли каждого советского человека в деле успешного выполнения пятилетних планов развития

народного хозяйства СССР.

Для того чтобы подчеркнуть преимущества советской экономики над капиталистической, появлялись серии почтовых марок, демонстрировавших достижения СССР в области промышленности, транспорта, архитектуры. Серии марок были посвящены истории создания и развития автомобилей, железнодорожного транспорта. Они были призваны формировать чувства патриотизма, гордости за национальные достижения, и одновременно развивать техническую грамотность. На тему коллективной безопасности выпускались серии марок с изображениями передовой авиационной, военно-морской техники.

Важной задачей было распространение среди населения правил здорового труда и быта, основанных на последних достижениях естественных наук. Обсуждались вопросы повышения общекультурного уровня советских граждан, улучшения образования молодежи и трудящихся, часто без отрыва последних от производства. Для работающих граждан предписывалось проводить лекции и семинары на темы современного международного положения, успехов социалистического строительства, науки и техники, культуры и искусства. Особое значение в сфере научно-популярного жанра придавалось телевидению.

Особый резонанс получила тема освоения космоса. Она была призвана обеспечить распространение сразу нескольких идей. Мирное освоение космоса – это соединение положения о безграничном могуществе разума человека в форме научно-технического прогресса, и мечты об обществе всечеловеческого братства, без конфликтов и войн. Превосходство СССР в области мирного освоения космоса косвенно свидетельствовало об истинности марксизма как теории и научного материализма как методологии. Объединенное человеческое общество, всеобщее благоденствие, перенесенные с планеты Земля в космос, отодвинутые в пространственно-временной перспективе, являлось своеобразной мечтой о «новом коммунистическом интернационале». Но такой идеал прогресса оставлял гораздо больше простора для индивидуальной фантазии, нежели доктрина интернационала на основе идеи классовой борьбы. Не случайно жанр научной фантастики становится крайне востребованным в СССР 1970-1980-х годов, а профессия космонавта самой престижной возможностью реализации героического типа поведения.

Итак, в период 1950-1980-х годов наблюдалось большое количество идеологем, в которых отражались представления о научно-техническом прогрессе. Некоторые из них просуществовали с небольшими изменениями в течение всего периода советской истории, некоторые сюжеты активно используются и сейчас.

## СЕКЦИЯ «ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»

УДК 544.654.2

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЯ НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ ХРОМОВЫХ ПОКРЫТИЙ

А.С. Солодов, М.С. Солодов, С.Г. Кошель

Научный руководитель – С.Г. Кошель, д-р хим. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

В настоящее время актуальным направлением исследований в гальванотехнике является разработка трехвалентных электролитов хромирования. Основное направление использования таких электролитов – получение защитно-декоративных покрытий. Нами был разработан электролит хромирования на основе ионной жидкости. В связи с этим представляло интерес определить коррозионную стойкость хромовых покрытий в зависимости от условий электроосаждения.

Электроосаждение хрома осуществляли на образцы из стали марки Ст3 площадью  $1 \text{ см}^2$  из ионной жидкости состава  $3\text{ChCl}:1\text{CrCl}_3$  (15 % мас.  $\text{H}_2\text{O}$ ). Процесс осаждения проводили при температуре от 40 до 60 °С и при плотности тока 4-12 А/дм<sup>2</sup>. Толщина покрытий составляла 2 мкм. Для улучшения коррозионной стойкости хромовых покрытий проводили дополнительную обработку, которая заключалась в анодной поляризации в растворе 0,1 М  $\text{KNO}_3$  в течение 2 минут при потенциале 2 В. При этом происходит удаление из поверхностного слоя хлорид-ионов и пассивирование хромового покрытия.

Поляризационное исследование антикоррозионных свойств полученных хромовых покрытий проводили в трехэлектродной ячейке на потенциостате IPC-Pro в 3 %-ном растворе NaCl. Были определены значения потенциалов и токов коррозии хромовых покрытий, полученных при разной температуре, а также после дополнительной обработки. Установлено, что наилучшей коррозионной стойкостью обладают покрытия, полученные при температуре 50 °С. Выявлено, что дополнительная обработка благоприятно влияет на коррозионную стойкость хромовых покрытий, полученных из ионной жидкости, при этом ток коррозии уменьшается примерно в 2 раза по сравнению с необработанным хромовым покрытием.

**Таблица 1. Результаты поляризационных исследований**

	$E_{\text{кор}}$ , мВ	$i_{\text{кор}}$ , мкА/см <sup>2</sup>
Сталь Ст3	-500	8,1
Хром, $T = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ , $i = 4 \text{ А/дм}^2$	-447	7,2
Хром, $T = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ , $i = 6 \text{ А/дм}^2$	-375	3,5
Хром, $T = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ , $i = 8 \text{ А/дм}^2$	-468	6,3
Хром, $T = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ , $i = 6 \text{ А/дм}^2$ , обработка в $\text{KNO}_3$	-407	1,8



## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИОННЫХ ЖИДКОСТЕЙ В КАЧЕСТВЕ ЭЛЕКТРОЛИТА ДЛЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ АНИЛИНА**

**А.С. Солодов, М.С. Солодов, С.Г. Кошель**

Научный руководитель – С.Г. Кошель, д-р хим. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Ионные жидкости и проводящие полимеры являются двумя из наиболее интересных направлений исследований в последнее десятилетие. Проводящие полимеры являются органическими материалы, которые могут отображать электронные и оптические свойства. Они обладают потенциалом применения для проектирования и изготовления огромного количества устройств, в том числе электрохромных стекол. Полианилин представляет собой проводящий полимерный материал, который может быть синтезирован химически или электрохимически. Ионные жидкости являются перспективными средами для электросинтеза полианилина, в связи с их высокой проводимостью и большим «электрохимическим окном».

С точки зрения проведения исследований интересны ионные жидкости на основе холин хлорида. Нами были получены и проведены исследования ширины «электрохимического окна» и удельной электропроводности ионных жидкостей на основе холин хлорида с этиленгликолем, мочевиной, глицерином, пропиленгликолем и щавелевой кислотой. Приготовление ионных жидкостей на основе холин хлорида включает в себя смешивания двух компонентов в определенном соотношении при умеренном нагревании. Для всех рассмотренных ионных жидкостей характерно возрастание электропроводности с повышением температуры. Исследования ширины «электрохимического окна» ионных жидкостей показало, что все они кроме жидкости со щавелевой кислотой остаются электрохимически инертными в области потенциалов от минус 1 В до плюс 1 В.

Был исследован электрохимический синтез полианилина из ионных жидкостей. Механизм процесса полимеризации изучался с помощью циклической вольтамперометрии и хронопотенциометрии. Окислительный потенциал анилина в значительной степени зависит от состава ионной жидкости, и он смещается при осаждении полимера на рабочем электроде. По сравнению с синтезом полианилина из водных растворов  $H_2SO_4$ , было замечено, что структура полимера изменяется. Исследование влияния концентрации анилина на электрохимическое осаждение пленок полианилина, полученных из ионных жидкостей, показало, что лучшей электрохимической активностью обладают пленки, синтезированные из разбавленных по анилину растворов.

## **ЭЛЕКТРОФОРЕТИЧЕСКОЕ НАНЕСЕНИЕ ФТОРОПЛАСТОВЫХ ПОКРЫТИЙ**

**Е.Д. Шубнякова, Ю.В. Подвальная, Е.С. Соболева**

Научный руководитель - Е.С. Соболева, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

В наше время, ввиду быстрого роста объёма производства и необходимости повышения срока службы производимой продукции, встает вопрос о разработке защитных покрытий и методов их нанесения. Основными критериями покрытия, необходимыми для его внедрения на производство, являются: коррозионностойкость, термостойкость, малые энергетические затраты на нанесение покрытия, химическая стойкость, возможность автоматизации процесса и др.

За последнее десятилетие широкое применение нашло использование фторопластовых покрытий. Наличие высокого содержания фтора в структуре полимера дает ему ряд свойств, которые отличают его от других покрытий, а именно высокую химическую, радиационную и коррозионную стойкость. Они способны сохраняться как при низких, так и при высоких температурах. Достоинством фторопластов является их негорючесть и способность к самозатуханию, что делает их использование безопасным на производстве. Одним из методов получения фторопластовых покрытий является метод электрофоретического осаждения.

Цель настоящего исследования - получение фторопластовых покрытий из водных фторопластовых суспензий на металлических изделиях электрофоретическим методом.

Электроосаждение проводилось в электролитической ячейке, состоящей из двух катодов и одного анода. Процесс осаждения покрытия непосредственно протекал на аноде. Исследовалось влияние технологических параметров (плотности тока и времени осаждения) на качество получаемых покрытий.

Установлены временной интервал получения качественных покрытий (от 5 до 30 секунд) и диапазон плотностей токов, при котором получают равномерное нанесение покрытия на поверхность металлического изделия.

Замечено резкое изменение плотности тока в течение первых 5-10 с, так как в этот период скорость осаждения фторопласта достигает максимального значения, далее же покрытие формируется практически с неизменной скоростью и вызывает небольшие изменения тока.

Финишной операцией нанесения электрофоретических фторопластовых покрытий является термообработка. От её условий зависит качество и свойства получаемого покрытия. В ходе работы был подобран оптимальный режим оплавления фторопласта.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФТОРПОЛИМЕРНЫХ ДИСПЕРСИЙ**

**А.Н. Вихарев, М.А. Гладченко, С.Г. Кошель**

Научный руководитель – Е.С. Соболева, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Одним из перспективных направлений в современной технологии является использование полимеров в качестве покрытий для защиты поверхности металла и придания ей специальных свойств. Особый интерес представляют фторированные полимерные материалы. Однако их применение с этой целью весьма ограничено в связи с высокой адгезионной инактивностью по отношению к металлическим поверхностям. Данную проблему можно решить при формировании металлполимерных покрытий из водных дисперсий фторопласта с использованием метода катодного осаждения.

Для приготовления электролитов-суспензий, позволяющих получать качественные электрохимические металлфторопластовые покрытия, необходимо приготовить дисперсную систему, состоящую из дисперсной фазы (фторопласт) и дисперсионной среды (вода), в присутствии поверхностно-активных веществ. В данной работе были приготовлены водные дисперсии фторопласта марки Ф-40 (сополимер тетрафторэтилена с этиленом), стабилизированных различным количеством (2,8-3,4 %) олигомерных катионных поверхностно-активных веществ (КПАВ) марки ЧАС-Т.

Изменения концентрации дисперсной фазы, количества введенных ПАВ и технология приготовления отражаются на структуре получаемых дисперсий. Поэтому в работе была исследована вязкость приготовленных полимерных дисперсий. Необходимо было выявить зависимость изменения вязкости данных дисперсий от относительной массовой доли олигомерного КПАВ (2,8, 3,0, 3,1, 3,2, 3,3, 3,4 %) в них.

Экспериментально установлено, что дисперсия, стабилизированная 3,2 % КПАВ, обладает самой высокой вязкостью в ряде аналогичных случаев. Повышение вязкости с ростом массовой доли олигомерного КПАВ связано с его пептизирующим действием. До достижения массовой доли КПАВ в дисперсии 3,2 % его количество еще недостаточно для предотвращения образования коагуляционных структур за счет открытых гидрофобных участков поверхности частиц фторопласта, что подтверждают данные по изучению кинетики седиментации. Падение вязкости после максимума связано с разрушением агрегатов и повышением агрегативной устойчивости.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ АГРЕГАТИВНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ  
ФТОРОПЛАСТОВОЙ ДИСПЕРСИИ  
ПО КИНЕТИКЕ СЕДИМЕНТАЦИИ**

**М.А. Гладченко, Н.Н. Смирнова, А.Н. Вихарев**

Научный руководитель - Е.С. Соболева, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Эффективность электрофоретического осаждения полимерных дисперсий и соосаждения их с металлами существенным образом зависит от заряда частиц. Поэтому формирование поверхностного заряда на частицах полимеров, диспергированных в водной среде, и изменение его величины представляет теоретический интерес, а также имеет важное практическое значение. КПАВ, применяемые в процессе приготовления водной фторполимерной дисперсии, играют двоякую роль: на первом этапе ПАВ выступает в роли зарядчика, определяющего рост  $\zeta$ -потенциалов в результате адсорбции на частицах фторопласта в дисперсии. При высоких концентрациях КПАВ они действуют как обычные электролиты и оказывают неблагоприятное воздействие на процесс катодного формирования покрытия. Следовательно, КПАВ являются стабилизаторами и зарядчиками дисперсий только в определенной области концентраций. В связи с этим, целью исследования явилось определение относительной массовой доли КПАВ, необходимой для стабилизации дисперсии. Концентрации высокомолекулярных КПАВ, используемые для формирования дисперсии, не поддаются расчетам. Единственная возможность оценить количество застабилизированной дисперсии – эксперимент. Поэтому в ходе разработки дисперсии сополимера тетрафторэтилена с этиленом определение нижнего и верхнего предела массовой доли КПАВ (ЧАС-Т), необходимого для стабилизации частиц фторопласта в водной среде, проводили экспериментально и по результатам исследования кинетики седиментации соответственно. При введении КПАВ в массовой доле менее 2,8 % стабилизации дисперсии не происходит, частицы полимера находятся в смеси в несмоленном или частично смоченном состоянии. При введении КПАВ в массовой доле 2,8 % дисперсия становится стабильной, частицы находятся в смоченном состоянии. При введении КПАВ в количестве свыше 3,3 % происходит быстрое оседание фторопласта в виде плотного осадка, который трудно поддается диспергированию. Изучение процесса стабилизации и характера оседания частиц полимера в водной дисперсии и электролитах-суспензиях позволило определить диапазон массовых долей КПАВ (3,1-3,3 %), необходимых для стабилизации водной фторполимерной дисперсии и последующей реализации процесса катодного электроосаждения.

**ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЯ НИКЕЛЯ  
В ПРИСУТСТВИИ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНОГО ВЕЩЕСТВА**

**А.С. Смирнова, М.А. Кушина, М.А. Гладченко**

Научный руководитель - Е.С. Соболева, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

В последние десятилетия специалисты проявляют интерес к совместному осаждению металлов и полимеров - фторопластов, способных формировать композиционное покрытие сложного состава, удачно сочетающих достоинства как металлических, так и полимерных покрытий. Так, композиционные материалы на основе металла и фторопласта обладают высокой электро- и теплопроводностью, износостойкостью, твердостью (т.е. свойствами металла) и в то же время характеризуются низким коэффициентом трения, отличными антиадгезионными свойствами, высокой упругостью, устойчивостью в химических средах. По поводу химической устойчивости композиционных материалов следует отметить, что в ряде случаев она даже превышает химическую стойкость чисто фторопластового покрытия. Никель наиболее часто служит матрицей для композиционных электрохимических покрытий, так как обладает сродством к большинству частиц, применяемых в качестве второй фазы, и легко образует с ними покрытия. Композиционные электрохимические покрытия на основе никеля характеризуются высокими физико-химическими свойствами: повышенной твердостью и прочностью, коррозионной стойкостью в щелочных, слабокислых растворах и атмосфере. Наиболее широкое распространение получили никельфторопластовые покрытия. Для их получения необходимо разработать электролит-суспензию, в которых важной составляющей является поверхностно-активное вещество (ПАВ), необходимое для диспергирования фторопластового порошка и придания заряда. Поэтому целью работы явилось изучение влияния катионного фторированного ПАВ – ЧАС-Т на процесс электрокристаллизации никелевых покрытий.

Влияние ПАВ на электроосаждение никелевых покрытий проводили путем снятия поляризационных кривых в потенциостатическом режиме на потенциостате IPC-Pro при скорости развертки потенциала 1,0 мВ/с. В результате проведенных исследований, что КПАВ вызывает значительное изменение потенциала под током. Это свидетельствует о сильной адсорбции фторированных добавок. При наложении тока и увеличении его плотности происходит резкий сдвиг потенциала в область более отрицательных значений. Наиболее существенный сдвиг потенциала наблюдается при введении небольшого количества КПАВ в электролит. Дальнейшее увеличение концентрации КПАВ не сказывается на ходе поляризационной кривой.

## **ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНОГО ВЕЩЕСТВА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ**

**Н.Н. Смирнова, М.А. Гладченко, А.Н. Вихарев**

Научный руководитель - Е.С. Соболева, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

В последние годы в практике гальваностегии наряду с чисто металлическими покрытиями получили распространение композиционные покрытия. Большой интерес представляют металлофторопластовые покрытия, в частности, никельфторопластовые, сочетающие в себе свойства как металлов, так и полимеров.

Одним из важнейших и необходимых условий для получения металлофторопластовых покрытий является приготовление устойчивой дисперсии фторопласта в электролите. Для ее стабилизации применяли катионное фторированное поверхностно-активное вещество (КФПАВ) – ЧАС-Т. Присутствие органики в электролите отражается на механических свойствах покрытий, таких как твердость, пластичность, прочность сцепления с основой. Среди механических характеристик внутренние напряжения (ВН) и твердость являются одними из наиболее структурно чувствительных параметров осадка, и в то же время величина ВН дает информацию об адгезионных свойствах электрохимических покрытий.

Поэтому целью исследований явилось изучение влияния КФПАВ и технологических параметров процесса на величину ВН и твердость получаемых покрытий, в частности чисто никелевых и никельфторопластовых. Никелевые покрытия получали из сернокислого электролита никелирования Уоттса, а никельфторопластовые - из электролита-суспензии на основе вышеупомянутого электролита, в котором был диспергирован фторопластовый порошок - сополимер тетрафторэтилена с этиленом - в присутствии КФПАВ. В результате было установлено, что с увеличением толщины никелевого покрытия величина ВН падает, что объясняется увеличением размера зерна. Увеличение плотности тока также приводит к росту ВН никелевых покрытий, полученных как из чистого электролита, так и с добавкой КФПАВ. Введение КФПАВ в никелевый электролит для получения покрытий приводит к снижению микротвердости последних. Что касается композиционных никельфторопластовых покрытий, то введение фторопласта в электролит приводит к снижению ВН. В зависимости от рецептуры электролита-суспензии и режима электролиза можно получать покрытия с различным содержанием полимера в нем (15-60 % об.). Чем выше содержание фторопласта, тем ниже его микротвердость.

**ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ НА МЕДИ  
В СЕРНОКИСЛОМ ЭЛЕКТРОЛИТЕ МЕДНЕНИЯ  
В ПРИСУТСТВИИ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНОГО ВЕЩЕСТВА**

**М.А. Кушина, А.С. Смирнова, М.А. Гладченко**

Научный руководитель - Е.С. Соболева, канд. тех. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

В настоящее время в промышленности широкое применение нашли медные покрытия. Важнейшими областями применения медных покрытий являются приборо- и машиностроение, производство предметов широкого потребления, и т. д. Такое распространение меди в гальванотехнике объясняется, прежде всего, физико-механическими свойствами этого металла (защита основного металла от коррозии и декоративная отделка), кроме того, медь может являться подслоем для Cu-Cr-Ni и Cu-Ni покрытий. С целью повышения медных гальваноосадков, получаемых из сернокислых растворов, предлагается применять дополнительные добавки. Поверхностно-активные вещества (ПАВ) давно и широко используются при катодном выделении металлов и сплавов. В присутствии ПАВ наблюдается изменение структуры катодных осадков металлов, покрытия становятся более равномерными и мелкокристаллическими, а в отдельных случаях приобретают зеркальный блеск. Введение органических соединений в электролит позволяет сблизить необратимые потенциалы выделения металлов, что используется в электрохимическом получении сплавов.

Свойства медных покрытий обусловлены их кристаллическим строением, а оно в значительной степени связано с адсорбцией добавок поверхностью электрода. Поэтому целью настоящих исследований являлось изучение влияния фторированного катионного ПАВ (ЧАС-Т) на процесс электроосаждения медных покрытий. С этой целью проводилось измерение катодной поляризации при выделении меди из сернокислых электролитов с добавками катионного ПАВ марки ЧАС-Т.

Были измерены стационарные потенциалы медного электрода в медном сульфатном электролите с добавками катионного ПАВ с концентрациями 0,0625; 0,125; 0,25; 0,5; 1 г/дм<sup>3</sup> при отсутствии внешнего тока в цепи. Замечено, что в медном электролите потенциал медного электрода практически не зависит от присутствия катионного ПАВ. При наложении тока и увеличении его плотности происходит резкий сдвиг потенциала в область более отрицательных значений. Наиболее существенный сдвиг потенциала наблюдается при концентрации катионного ПАВ 0,125 г/дм<sup>3</sup>. Дальнейшее увеличение концентрации катионного ПАВ (свыше 0,25 г/дм<sup>3</sup>) мало сказывается на поляризации.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЯ НИКЕЛЯ ИЗ ИОННОЙ ЖИДКОСТИ НА ОСНОВЕ ХОЛИН ХЛОРИДА**

**К.М. Голиков, Н.С. Трофимов, А.С. Солодов, М.С. Солодов**

Научный руководитель – А.С. Солодов, аспирант

*Ярославский государственный технический университет*

Ионные жидкости в настоящее время являются перспективными в плане использования их в качестве растворителя для электроосаждения металлов. Ионные жидкости на основе холин хлорида являются устойчивыми на воздухе, поэтому их применение в гальванотехнике актуально. Из данных ионных жидкостей могут быть осаждены различные металлы, к примеру, никель. В связи с этим, целью работы являлось исследование процесса электроосаждения никеля из ионной жидкости на основе эвтектики холин хлорида и этиленгликоля (1:2 молярное соотношение).

Для исследований была выбрана ионная жидкость ( $1\text{ChCl}:2\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_2$ ) с разными концентрациями  $\text{NiCl}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ : 2М, 1М, 0,5М, 0,2М. Приготовление ионной жидкости заключалось в смешивании компонентов определенных соотношений при нагревании до 70 °С в течение часа. Далее растворяли расчетное количество хлорида никеля.

Исследования закономерностей электроосаждения никеля проводились в термостатированной трехэлектродной ячейке на потенциостате IPC-Pro. Рабочий электрод был выполнен из платины, а вспомогательный из никеля. Площадь рабочего электрода составляла 0,1 см<sup>2</sup>. Электродом сравнения являлась серебряная проволока.

Нами были проведены исследования изменения электропроводности электролитов, в зависимости от температуры и содержания хлорида никеля в ионной жидкости. Было установлено, что с увеличением температуры происходит возрастание электропроводности. При этом электропроводность ионной жидкости различна в зависимости от концентрации хлорида никеля. Также было проведено исследование влияния условий электроосаждения (температура, плотность тока) и концентрации хлорида никеля в электролите на выход по току. Была определена максимально возможная толщина качественного никелевого покрытия и влияние условий электроосаждения на твердость никелевых покрытий.

Полученные результаты исследования говорят о возможности применения ионных жидкостей для электроосаждения никеля. При этом необходимы дальнейшие исследования с целью улучшения качества никелевых покрытий и придания изделиям более конкурентоспособного вида по сравнению с покрытиями, полученными из водных электролитов.



**АНАЛИЗ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОЛИЗЁРА  
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ХЛОРАТА НАТРИЯ  
С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ЭЛЕКТРОДОВ**

**М.В. Гришина, Я.Ю. Овчинкина, А.В. Павлов**

Научный руководитель – А.В. Павлов, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

С целью повышения технико-экономических показателей производства хлората натрия, широко используемого в целлюлозно-бумажной, текстильной промышленности, в медицине, в производстве взрывчатых веществ и гербицидов, разработана конструкция электролизёра с горизонтальным расположением электродов.

В работе проведен сравнительный анализ технологических показателей производства хлората натрия с использованием бездиафрагменного электролизёра с вертикальным расположением электродов и новой конструкции бездиафрагменного электролизёра с горизонтальным расположением электродов. Рабочие объёмы, расстояние между анодами и катодом сравниваемых электролизёров были одинаковыми. В электролизёре с горизонтальным расположением электродов катод располагался над анодами.

Условия сравнительного электролиза были следующие: начальная концентрация водного раствора хлористого натрия – 270 г/л, время электролиза – 6 часов. Объёмная плотность тока в каждом из электролизёров составляла 1,77 А/л, в качестве анодов выбраны графитовые стержни, работающие при анодной плотности тока – 300 А/м<sup>2</sup>, в качестве катодов – стальные пластины, работающие при катодной плотности тока в 460 А/м<sup>2</sup>. Напряжение на каждом из электролизёров не превышало 3,8 В, температура электролиза изменялась от 25 до 30 °С. В процессе работы определялись текущие концентрации хлората и гипохлорита натрия с использованием йодометрического метода.

Сравнительный анализ показал, что селективность электрохимического процесса по хлорату натрия в электролизёре с горизонтальным расположением электродов превышает данный технологический показатель для электролизёра с вертикальным расположением электродов в течение всего времени работы электролизёров. Отмечено, что максимальные экстремальные значения селективности электрохимического процесса по хлорату натрия наблюдаются после первого часа работы обоих электролизёров, с течением времени показатели селективности монотонно снижаются.

Анализ работы электролизёра с горизонтальным расположением электродов предполагает его использование в технологической схеме производства хлората натрия с выделением твердого продукта вымораживанием, где предусмотрено использование каскада электролизёров.

**ЭФФЕКТ ВТЯГИВАНИЯ АНИОНОВ ПРИ ОПИСАНИИ  
АДСОРБЦИИ НА ЭЛЕКТРОДЕ ОРГАНИЧЕСКИХ КАТИОНОВ  
В РАМКАХ ОБОБЩЕННОЙ МОДЕЛИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ**

**Я.Ю. Овчинкина, М.В. Гришина, С.И. Карпов**

Научный руководитель – С.И. Карпов, канд. хим. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

В литературе известна модель, позволяющая рассчитать кривые дифференциальной емкости ( $C, E$ -кривые) двойного электрического слоя (ДЭС) и интерпретировать закономерности, наблюдаемые на экспериментальных кривых при адсорбции на электроде органических катионов. Для улучшения количественного согласия между модельным расчетом  $C, E$ -кривых и экспериментом в рамках обобщенной модели поверхностного слоя (ОМПС) в предыдущем нашем исследовании мы учли несимметричность электролита фона, применяемого в эксперименте, а также экспериментально наблюдаемую зависимость аттракционного взаимодействия в слое адсорбата от потенциала и степени заполнения им поверхности электрода. Полного количественного согласия результатов модельного расчета с экспериментом при этом достичь не удалось.

Представляло интерес, в рамках ОМПС выполнить модельный расчет  $C, E$ -кривых при адсорбции на электроде катионов тетрабутиламмония на фоне 1,2-валентного электролита ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) с учетом эффекта втягивания противоионов в плотную часть двойного слоя, а также варьированием адсорбционных параметров и доли втянутых противоионов добиться лучшего количественного согласия расчета и эксперимента чему и было посвящено настоящее исследование.

Втягивание противоионов в плотную часть двойного слоя усложняет модель его строения, так как плоскость локализации противоионов не совпадает с плоскостью локализации специфически адсорбированных ионов. Учитывая, что один противоион может быть втянут в плотный слой на несколько специфически адсорбированных катионов, для расчета  $C, E$ -кривых уравнения ОМПС-модели нами были скорректированы путем введения поправки на величину  $L$ , которая соответствует доле втянутых в плотный слой противоионов ( $L < 1$ ).

Результаты выполненных модельных расчетов показали, что учет втягивания противоионов позволяет качественно точнее передать характерную форму  $C, E$ -кривых, что указывает на правильность основных положений модели. Варьированием адсорбционных параметров и доли втянутых противоионов  $L$  добиться полного количественного согласия расчета и эксперимента не удалось. Для улучшения адекватности модели необходима дальнейшая работа по ее уточнению.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ В ДАКТИЛОСКОПИИ**

**И.Ю. Рышкова**

Научный руководитель – А.В. Павлов, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Дактилоскопия как метод идентификации человека по отпечаткам пальцев, основанный на уникальности рисунка кожи, широко используется в криминалистике и при оплате покупок в магазинах, оборудованных сканерами. Используя дактилоскопию, можно открывать замки, сейфы, оборудованные сканерами, простым прикосновением пальцев.

С 2013 года в России введена обязательная дактилоскопия многих категорий граждан. Существующая технология дактилоскопирования основывается на получении отпечатков пальцев с использованием черной типографской краски сначала на стекле с последующим переносом их на бумажный носитель. Черная типографская краска длительное время остается на кожном покрове и тем самым создаёт владельцу отпечатков определённый дискомфорт. Кроме того, папиллярный узор отпечатков пальцев, полученных с использованием черной типографской краски, не всегда соответствует требованиям международных стандартов по оптическому разрешению и полутоновым уровням яркости.

Применение технологии дактилоскопирования с использованием гальванических покрытий устраняет недостатки, присущие традиционной технологии с использованием черной типографской краски. Отпечатки пальцев, полученные на цинковом матовом покрытии, толщиной 9 мкм, имеют разрешение 500 dpi. Образцы получают полутоновые с 256 уровнями яркости. После 6 месяцев наблюдений, стальные жестяные оцинкованные образцы с отпечатками пальцев, не подвергаются коррозии, качество отпечатков не снижается. При помощи опытных образцов с отпечатками пальцев на цинковом покрытии удалось запустить цифровые устройства в компьютерах, оборудованных сканером. Применение гальванических оловянных покрытий в качестве материала для дактилоскопирования не дало должного результата, через 14 дней оловянное покрытие потемнело, качество папиллярного узора снизилось. При использовании блестящих никелевых покрытий получаемые отпечатки пальцев не удовлетворяли требованиям по полутоновым уровням яркости. Отпечатки пальцев, полученные с медных и бронзовых покрытий толщиной до 20 мкм, получались не чёткими, возникали проблемы при их сканировании. Использование твёрдых хромовых покрытий позволяли получать хорошие отпечатки пальцев, удовлетворяющие международным требованиям, однако технологические затраты на получения твёрдых хромовых покрытий намного выше получения цинковых матовых покрытий.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРОБОВАНИЯ МАСЛОНАПОЛНЕННОГО МАГНИТНОГО СОРБЕНТА В КАЧЕСТВЕ ИНГИБИТОРА КОРРОЗИИ МЕТАЛЛОВ**

**А.Н. Соловьёва, А.В. Павлов**

Научный руководитель – А.В. Павлов, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Магнитные сорбенты широко используются для очистки сточных вод от нефтепродуктов. По сравнению с известными сорбентами важным преимуществом магнитных сорбентов является значительное снижение времени разделения очищенной воды с адсорбентом. Магнитный сорбент представляет собой смесь магнетита и немагнитного сорбента. Магнетит получали из железосодержащих отходов металлургического производства ОАО «Северсталь» и активированного угля. Магнитный сорбент использовали для очистки водной поверхности от смесей промышленных масел И-8А и И-20 отстойных водных резервуаров промышленного предприятия ЗАО «Ярославль-Резинотехника». Одна часть маслонаполненного магнитного сорбента была подвергнута вакуумированию и центрифугированию для извлечения из него масляной смеси с последующей регенерацией сорбента, а другая часть была опробована в качестве ингибитора коррозии стали, при контакте её с водным раствором серной кислоты.

Опробование маслонаполненного магнитного сорбента в качестве ингибитора коррозии стали, при контакте её с водным раствором серной кислоты проводилось в лабораторных коррозиметрах с использованием качественных и количественных методов. Осуществлялось визуальное наблюдение поверхности стальных образцов до и после коррозионного воздействия. В качестве количественных методов определения ингибирующей способности маслонаполненного магнитного сорбента применялись гравиметрический и волюметрический методы. Результаты опробования маслонаполненного магнитного сорбента в качестве ингибитора коррозии стали показали, что при введении в  $0,5 \text{ моль/дм}^3$  раствор серной кислоты от 25 до  $50 \text{ мг/дм}^3$  маслонаполненного магнитного сорбента степень защиты стали от коррозии растёт с 49,6 до 92 % по линейному закону. Отмечено, что состояние поверхности стальных образцов, находившиеся в контакте с маслонаполненным магнитным сорбентом, не изменилось после проведения опробования в течение 10 суток. Ингибирующее действие маслонаполненного магнитного сорбента сводится к экранированию поверхности стальных образцов за счет адсорбции органических молекул на стальной поверхности и дополнительного воздействия магнитного поля, инициируемого сорбентом. При этом затрудняется восстановление ионов гидроксония на стальной поверхности и скорость коррозионного процесса снижается.

## **АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ БУФЕРНЫЕ ДОБАВКИ ДЛЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ НИКЕЛИРОВАНИЯ**

**Н.М. Аблажей, И.В. Антихович**

Научный руководитель - А.А. Черник, канд. хим. наук  
*Белорусский государственный технологический университет*

Большое количество рецептов электролитов для электроосаждения никелевых покрытий свидетельствует о том, что проблема поиска оптимального состава раствора до сих пор полностью не решена. Поиск и разработку новых растворов целесообразно проводить по пути снижения температуры процесса осаждения никеля и замены буферной добавки борной кислоты на более безопасные и эффективные компоненты.

Объектом исследования явились электролиты никелирования с буферными добавками – аминоксусной кислотой, сегнетовой солью, изомасляной кислотой. Принципиальным отличием предлагаемых электролитов является температура эксплуатации – 20-25 °С взамен 50-55 °С применяемой в электролите Уоттса.

В электролитах с добавкой аминоксусной кислоты и сегнетовой соли выход по току достигает 95 %, в электролите с изомасляной кислотой до 73 %.

Микрофотографии, полученные методом электронной сканирующей микроскопии, показывают, что никелевые покрытия, осажденные при пониженной температуре из тарtratных электролитов и с добавкой изомасляной кислоты, формируются в виде сферических зерен размером 1-3 мкм. Покрытия, полученные из глицинатных электролитов, имеют широкую сетку трещин.

Наибольшей буферной емкостью, определенной по результатам потенциометрического титрования, обладает электролит с добавкой изомасляной кислоты, в то время как рассеивающая способность в нем как по току, так и по металлу, минимальна и не позволяет рекомендовать его для сложнопрофильных деталей.

Микротвердость никелевых покрытий составляла 170-250 кгс/мм<sup>2</sup> – для покрытий из тарtratных электролитов и электролитов с изомасляной кислотой. Для покрытий из глицинатных электролитов микротвердость 450-490 кгс/мм<sup>2</sup>. Высокие значения твердости, вероятно, можно объяснить включением глицина в поверхность покрытия.

Таким образом, установлено, что применение различных буферных добавок в низкотемпературных электролитах никелирования позволяет получать никелевые покрытия с различной микротвердостью и микроструктурой.

**ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ  
КОМПОЗИЦИОННЫХ МЕДНЫХ ПОКРЫТИЙ  
С ДОБАВКОЙ УДА**

**В.В. Яскельчик, Е.В. Михедова**

Научные руководители – А.А. Черник, канд. хим. наук, доцент,  
И.М. Жарский, канд. хим. наук, профессор  
*Белорусский государственный технологический университет*

Целью работы являлось исследование влияния добавки ультрадисперсных алмазов (УДА) на процесс электроосаждения меди из цитратного электролита и свойства полученных медных покрытий. Покрытия медь-УДА являются альтернативными медным покрытиям, обладают улучшенными свойствами и применяются в качестве функциональных: антифрикционных покрытий для дисков сцепления автотракторной техники, в качестве твердой смазки для предотвращения схватывания резьбовых соединений.

Исследования проводились в цитратном электролите с добавками УДА концентрацией до 2 г/л. В результате исследований установлено, что введение УДА способствует увеличению допустимой плотности тока. Добавка УДА увеличивает область рабочих плотностей тока во всем спектре концентраций нанокристаллического углерода, наибольшая рабочая плотность тока достигается при концентрации 0,2 г/л.

По результатам гравиметрического определения выхода по току можно утверждать, что введение УДА значительно повышает катодный выход по току, что может быть вызвано как внедрением дисперсных частиц в структуру покрытия, так и облегчением процесса электровосстановления ионов меди из раствора.

Подтверждением внедрения УДА в медное покрытие можно считать увеличение его микротвердости. Наибольшее значение микротвердости достигается при увеличении концентрации УДА до 1,0 г/л. Еще одним косвенным показателем внедрения УДА в структуру покрытия является удельная электрическая проводимость, которая без добавки составила (51-52 МСм/м) и при введении в электролит УДА уменьшилась в два и более раза (30-24 МСм/м). Это свидетельствует о внедрении УДА в структуру медного покрытия, так как электрическая проводимость УДА имеет небольшое значение и снижает общую проводимость композиционного покрытия.

Таким образом, добавление УДА в цитратный электролит меднения способствует увеличению максимально допустимой рабочей плотности тока, повышению катодного выхода по току и микротвердости полученных композиционных медных покрытий.

# ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМИРУЕМЫХ СПЛАВОВ АЛЮМИНИЯ В БЕСХРОМОВЫХ ЭЛЕКТРОЛИТАХ

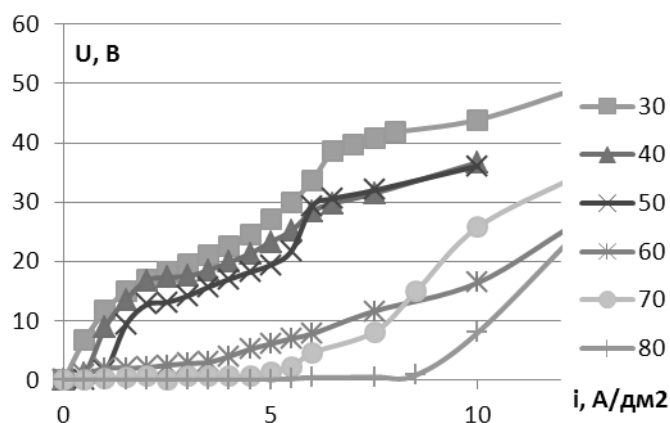
А.В. Пянко, А.А. Сохор, В.В. Жилинский

Научный руководитель – В.В. Жилинский, канд. хим. наук,  
ст. преподаватель

*Белорусский государственный технологический университет*

Электрохимическое полирование сплавов алюминия используется для декоративной отделки изделий, придания блеска, повышения прочности, коэффициента трения и коррозионной стойкости. Основным преимуществом электрохимического полирования сплавов алюминия перед их механическим полированием является малая себестоимость, высокая производительность, отсутствие загрязнения поверхности полировальными пастами. Основной недостаток электрохимического полирования – использование экологически опасных хромовых электролитов и высокая нагрузка на очистные сооружения

В связи с этим целью работы являлось исследование электрохимического полирования алюминиевых сплавов (АД31 и Д16) в бесхромовом электролите на основе ортофосфорной кислоты и поверхностно-активного вещества при температуре от 30 до 80 °С. В качестве катода использовали титановую сетку. Вольтамперные характеристики измеряли в гальваностатическом режиме (рис. 1).



**Рис. 1.** Вольтамперные характеристики процесса электрополирования сплава АД31 в исследуемом растворе в зависимости от температуры

Установлено, что при температурах 30-50 °С процесс электрополирования будет идти с малой скоростью (до 5 А/дм<sup>2</sup>), при этом блеск поверхности не наблюдается. При разогреве раствора до 70 °С полирование поверхности АД31 происходит при пониженных плотностях анодного тока (до 8 А/дм<sup>2</sup>) и напряжении до 10 В. Повышение температуры до 80 °С приводит к увеличению скорости химических процессов растворения анодно-оксидной пленки и растравливания поверхности алюминиевого сплава.

Таким образом, наилучший эффект электрополирования в исследуемом электролите наблюдается при 70 °С, что на 20 °С меньше чем температура традиционного полирования в фосфорной кислоте.

## ИЗУЧЕНИЕ РЕФРАКЦИИ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ ЛАУРЕТ СУЛЬФАТОВ МАГНИЯ И ЦИНКА

**В.А. Герасимович, Т.В. Харлан**

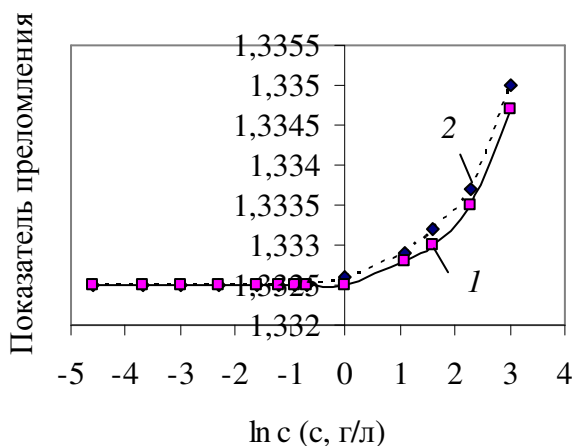
Научные руководители – Г.Г. Эмелло, канд. техн. наук, доцент;

Ж.В. Бондаренко, канд. техн. наук, доцент

*Белорусский государственный технологический университет*

Рефрактометрический метод исследования является одним из важнейших физических методов анализа. Он имеет широкую сферу применения, так как позволяет произвести измерения с высокой точностью и небольшой затратой времени, располагая малым количеством вещества. В работе показано использование данного метода для изучения свойств водных растворов ПАВ – лаурет сульфатов магния и цинка.

С использованием рефрактометра ИРФ 454Б2М определены показатели преломления водных растворов ПАВ с концентрациями 0,01–20,0 г/л. Исследования проводили при температуре 22 °С. Полученные данные приведены на рисунке.



**Рис. 1. Зависимость показателя преломления от концентрации раствора лаурет сульфата цинка (1) и лаурет сульфата магния (2)**

Обе зависимости, представленные на рисунке, имеют один и тот же характер. В области малых концентраций (для лаурет сульфата магния 0,01–0,50 г/л, для лаурет сульфата цинка 0,01–1,00 г/л) показатель преломления не зависит от содержания ПАВ в растворе и равен показателю преломления воды при температуре 22°С. Известно, что показатель преломления определяется молекулярной рефракцией ПАВ, которая представляет собой сумму атомных рефракций и рефракций инкрементов связей.

Поскольку в растворах ПАВ с указанными концентрациями рефракция не изменяется, то растворы являются истинными. При дальнейшем увеличении концентрации ПАВ происходит повышение показателя преломления. Это связано с тем, что в системах образуются мицеллы и в суммарной рефракции учитывается рефракция связей молекул ПАВ в мицелле. Из рис. 1 видно, что мицеллообразование в растворах лаурет сульфата магния начинается при меньшей концентрации, чем в растворах лаурет сульфата цинка.



## ТУРБИДИМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ЛАУРЕТ СУЛЬФАТА МАГНИЯ

**В.А. Герасимович**

Научные руководители – Г.Г. Эмелло, канд. техн. наук, доцент;

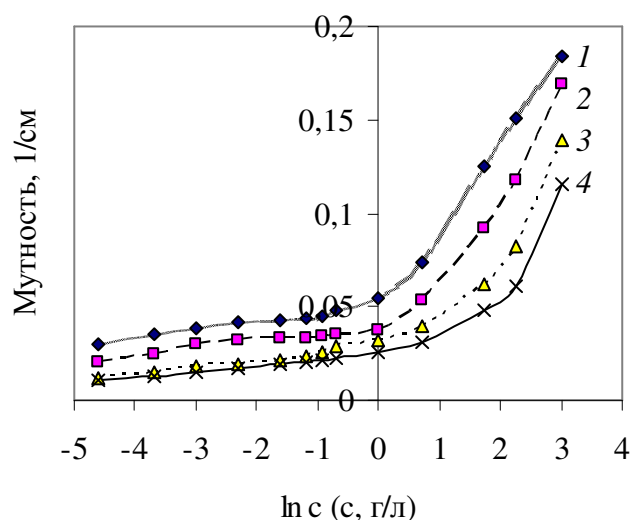
Ж.В. Бондаренко, канд. техн. наук, доцент

*Белорусский государственный технологический университет*

Лаурет сульфат цинка –  $(C_{12}H_{25}-O-(CH_2-CH_2-O)_3-SO_3)_2Zn$  – является анионным поверхностно-активным веществам (ПАВ). Он находит применение при производстве косметических продуктов.

Существуют различные методы исследования ПАВ и их водных растворов, позволяющие прогнозировать их функциональную принадлежность при практическом применении. В работе представлены результаты изучения водных растворов лаурет сульфата цинка турбидиметрическим методом, который основан на измерении интенсивности прошедшего через систему света при условии, что интенсивность падающего света уменьшается только из-за его рассеяния.

На фотометре КФК 3–01 проводили измерение оптической плотности систем при различных длинах волн (ширина кюветы 3 см). По полученным данным рассчитывали мутность ( $\tau$ ,  $cm^{-1}$ ), которая показывает долю рассеянного света по отношению к падающему. Результаты представлены на рис. 1.



**Рис. 1. Зависимость мутности от концентрации ПАВ при длинах волн, нм:**  
1 – 340; 2 – 380; 3 – 440; 4 – 490

Очевидно, что мицеллярные системы лаурет сульфата цинка подчиняются теории светорассеяния, которая была развита английским физиком Рэлеем для сферических, не поглощающих свет частиц.

Установлено, что в области существования истинных растворов мутность практически не изменяется с увеличением концентрации при постоянной длине волны, но уменьшается с ее повышением при одной и той же концентрации раствора. Вероятно, это объясняется наличием в системах оптических неоднородностей в виде ассоциатов. В коллоидных растворах значение мутности возрастает с повышением концентрации ПАВ, что связано с увеличением количества и размеров мицелл.

## ИЗУЧЕНИЕ ПЕНООБРАЗОВАНИЯ В СИСТЕМАХ «ПРЕПАРАТ COMPERLAN KD – ВОДА»

П.В. Ивинская

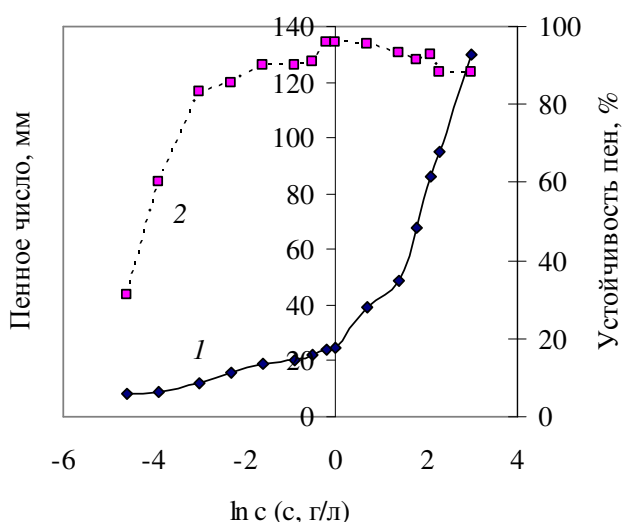
Научные руководители – Г.Г. Эмелло, канд. техн. наук, доцент

Ж.В. Бондаренко, канд. техн. наук, доцент

*Белорусский государственный технологический университет*

Препарат Comperlan KD (диэтаноламиды жирных кислот кокосового масла) представляет собой смесь неионогенных поверхностно-активных веществ с общей формулой  $C_nH_{2n+1}C(O)N(CH_2CH_2OH)_2$ , где  $n = 7-17$  (преимущественно 11). Его используют в составе гигиенических моющих средств, тем не менее, пенообразующие свойства водных растворов данного препарата не изучены.

Целью данной работы явилось изучение пенообразования в водных растворах препарата Comperlan KD. Пены получали на приборе Росс-Майлса при температуре 22 °С. Концентрацию раствора варьировали от 0,01 до 20,00 г/л. Результаты представлены на рис. 1.



**Рис. 1. Зависимость пенного числа (1) и устойчивости пен (2) от концентрации ПАВ**

концентрации от 2,0 до 20,0 г/л пенное число возрастает от 41 до 130 мм; устойчивость пен составляет 96-88 %.

Таким образом, изучение пенообразования в системах «препарат Comperlan KD – вода» показало, что в области изученных концентраций пенное число не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к пенам для ванн и гелям для душа (не менее 145 мм); в области концентраций 10-20 г/л соответствует требованиям, предъявляемым к шампуням (более 100 мм). Устойчивость пен должна составлять не менее 80 %, что соблюдается в интервале концентраций 0,05-20,0 г/л.

# ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА «ВОДНЫЙ РАСТВОР ЛАУРЕТ СУЛЬФАТА ЦИНКА – ВОЗДУХ»

Т.В. Харлан

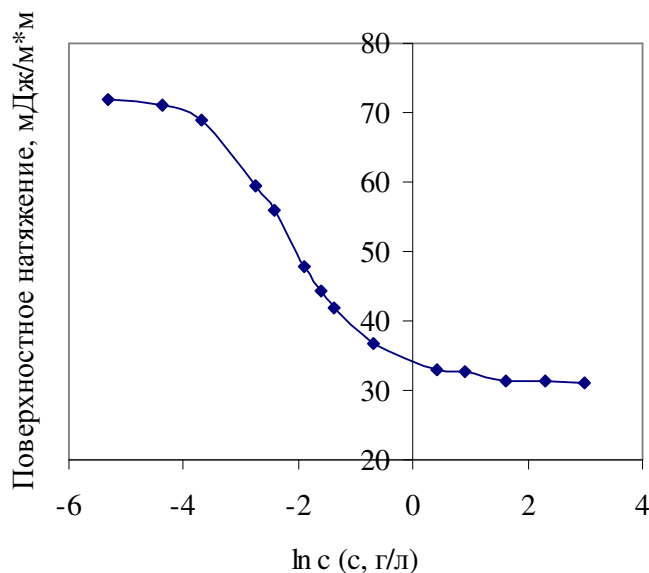
Научные руководители – Г.Г. Эмелло, канд. техн. наук, доцент;

Ж.В. Бондаренко, канд. техн. наук, доцент

*Белорусский государственный технологический университет*

Поверхностная энергия играет исключительно важную роль в большом числе самых разнообразных явлений. Количественной мерой поверхностной энергии является поверхностное натяжение, величина которого на границе «жидкость – газ» зависит от природы и количества растворенного в жидкости вещества.

Лаурет сульфат цинка ( $C_{12}H_{25}-O-(CH_2-CH_2-O)_3-SO_3)_2Zn$  является анионным поверхностно-активным веществом, т.е. понижает поверхностное натяжение воды. Целью данной работы явилось изучение поверхностного натяжения на границе «водный раствор лаурет сульфата цинка – воздух» в зависимости от концентрации раствора (0,005–20,00 г/л). В эксперименте использовали сталагмометрический метод анализа. Исследования проводили при температуре 22 °С. Результаты представлены на рис. 1.



**Рис. 1. Изотерма поверхностного натяжения**

ра, приводя к уменьшению избыточной поверхностной энергии. Понижение поверхностного натяжения в данном интервале концентраций практически в два раза свидетельствует о высокой поверхностной активности ПАВ. При концентрациях ПАВ более 1,5 г/л происходит насыщение поверхностного слоя, и поверхностное натяжение практически не изменяется.

Из представленных данных видно, что при концентрациях ПАВ до 0,0125 г/л поверхностное натяжение практически не изменяется и близко поверхностному натяжению воды при данной температуре (72,42 мДж/м²). С увеличением концентрации лаурет сульфата цинка от 0,025 до 0,50 г/л ( $\ln c$  от -4,38 до -0,69) поверхностное натяжение понижается. Это связано с тем, что поверхностно-активные анионы адсорбируются на поверхности раство-

## ИЗУЧЕНИЕ СОРБЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПЭТ ПО ОТНОШЕНИЮ К ИОНАМ Pb (II) И Cu (II)

Е.А. Бухарова, Е.А. Татаринцева

Научный руководитель - Е.А. Татаринцева, канд. техн. наук, доцент

*Энгельсский технологический институт (филиал)*

*Саратовского государственного технического университета*

*им. Ю.А. Гагарина*

Сорбент представляет собой мелкодисперсный порошок, полученный осаждением ПЭТ из раствора в системе бензиловый спирт - дибутилфталат.

Для нахождения оптимальных параметров сорбции было изучено влияние температуры и pH на сорбцию ионов Pb (II) и Cu (II) (рис. 1).

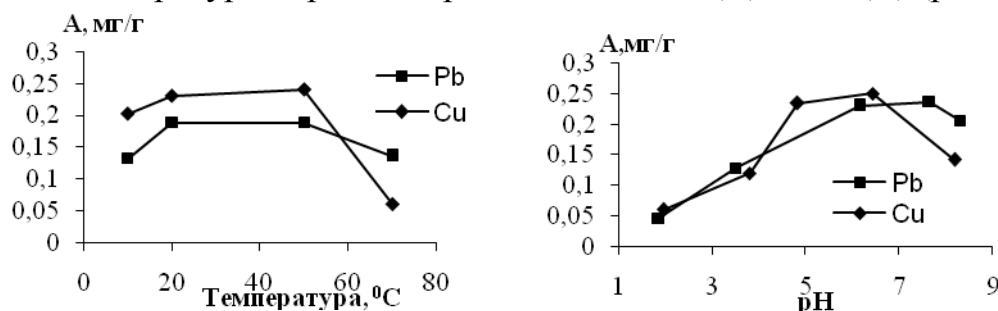


Рис. 1. Зависимость сорбции ионов Pb (II) и Cu (II) от температуры и pH

С увеличением температуры происходит рост сорбционной емкости за счет активации поверхности сорбента. При дальнейшем увеличении температуры происходит десорбция.

Степень извлечения для Pb(II) максимальна при pH = 6-8, для Cu (II) при pH = 5-6,5. При таких значениях pH ионы находятся в растворах в форме  $Pb(OH)^+$  и  $Cu(OH)^+$ , которые сорбируются на исследуемом материале.

Эффективность очистки Э (%) показывает долю абсолютного количества вещества, которое улавливается сорбентом и дает достаточно полное представление о характере процесса.

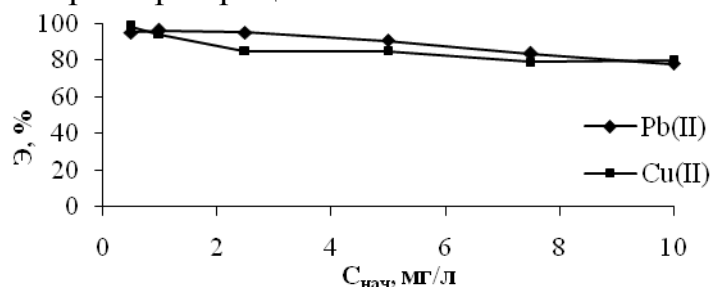


Рис. 2. Зависимость эффективности очистки от исходной концентрации ИТМ

Эффективность очистки при начальной концентрации ионов 10 мг/л составила 80 % для меди, 78 % для свинца (рис. 2).

## **СОРБЦИЯ СМЕСИ ФОСФОРСОДЕРЖАЩИХ СОБИРАТЕЛЕЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ШЛАМОВОЙ РУДЫ**

**А.К. Дюсенбаева, Ш.К. Амерханова, Р. М. Шляпов**

Научный руководитель - Ш.К. Амерханова, д-р хим. наук, профессор  
*Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова*

Важнейшими характеристиками, определяющими селективность флотации руд, являются размерность и гранулометрический состав подготовленного материала. Это необходимо учитывать при переработке тонковкрапленных руд и руд, имеющих в своем составе минеральные компоненты, обладающих по своей природе повышенным шламообразованием. Среди основных критериев, отвечающих за высокое содержание металла в концентрате, является степень гидрофобности поверхности, которая напрямую связана с величиной сорбции органических и неорганических реагентов на поверхности руд. Поэтому в работе были изучены особенности адсорбции дибутилдитиофосфата аммония и дибутилдитиофосфата натрия на границе раздела фаз «твердое тело-жидкость» для медно-свинцовой руды.

Согласно полученным результатам процесс сорбции сопровождается формированием на поверхности медно-свинцовой руды дибутилдитиофосфатов меди и свинца. После контакта образцов руды с  $10^{-5}$  М раствором смеси дибутилдитиофосфатов натрия и аммония, выявлено смещение максимумов характеристических частот колебаний связи P-S на  $2-5\text{ см}^{-1}$ , которое соответствует образованию координационных связей серы с металлом. В частности для смеси «дибутилдитиофосфат натрия-дибутилдитиофосфат аммония» (1:1) при  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  характерны высокие значения величины сорбции при низком содержании реагента ( $5 \cdot 10^{-6}\text{ М}$ ), что позволяет судить о формировании монослоя.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том что, смесь дибутилдитиофосфатов натрия и аммония является перспективным реагентом для флотации полиметаллических руд.

# КОЛЛЕКТИВНАЯ ФЛОТАЦИЯ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ РУДЫ ЖЕЗКАЗГАНСКОГО И НУРКАЗГАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Д.М. Шауенова, Ш.К. Амерханова, А.С Уали

Научный руководитель - Ш.К. Амерханова, д-р хим. наук, профессор  
Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова

В настоящей работе приведены результаты флотационного обогащения полиметаллических руд Жезказганского и Нурказганского месторождений (Казахстан) с использованием в качестве реагента в пенной флотации дибутилдитиофосфата аммония. В качестве пенообразователя использовался диизооктилдитиофосфат аммония, регулятором среды служила известь.

Согласно данным атомно-адсорбционного анализа, содержание металлов в исходной руде и после флотационного обогащения приведены в таблице 1.

**Таблица 1. Результаты флотации**

Me	Продукт	Массовая доля, %	Степень обогащения	Извлечение металла, %	Массовая доля, %	Степень обогащения	Извлечение металла, %
		Руда Жезказганского месторождения			Руда Нурказганского месторождения		
Fe	Исход. руда	0,37	-	-	0,36	-	-
	Концентрат	2,86	7,59	58,02	2,82	7,77	17,94
Си	Исход. руда	0,05	-	-	0,08	-	-
	Концентрат	0,36	7,07	54,08	1,37	15,34	36,36
Zn	Исход.руда	$8,89 \cdot 10^{-3}$			$4,37 \cdot 10^{-3}$	-	-
	Концентрат	11,36	1276,98	9756,16	0,06	14,75	34,07
Ni	Исход.руда	$4,27 \cdot 10^{-4}$	-	-	$1,69 \cdot 10^{-4}$	-	-
	Концентрат	$62,04 \cdot 10^{-4}$	14,53	111,01	$6,66 \cdot 10^{-4}$	39,45	91,12

Из таблицы 1 видно, что в результате флотационного обогащения вышеуказанных руд, наиболее эффективно обогащается полиметаллических руд Жезказганского месторождения. Показано, что извлечение минералов цинка в коллективный концентрат характеризуется наибольшими значениями по сравнению с результатами по железу, меди и никелю.

*Исследования выполнены в рамках проекта №0112РК00674, финансируемого Комитетом науки МОН РК.*

## **СОРБЦИОННАЯ ОЧИСТКА ВОД ОТ ИОНОВ РТУТИ (I, II) С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННЫХ АКТИВНЫХ УГЛЕЙ**

**Р.К. Жаслан, А.С. Уали, Ш.К. Амерханова**

Научный руководитель - Ш.К. Амерханова, д-р хим. наук, профессор  
*Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова*

В настоящее время тяжелые металлы являются наиболее распространенными загрязнителями, которые содержатся в водных источниках, что создает большую проблему для окружающей среды и здоровья населения. Ртуть и его соединения очень токсичны. Они накапливаются многими морскими и пресноводными организмами в концентрациях, во много раз превышающих содержание ее в воде. Употребление в пищу рыбы и морепродуктов неоднократно приводило к ртутному отравлению населения. Содержание ртути в реках в среднем - десятки доли микрограмма на литр воды, в морях - 0,03 мкг/л. Самый большой уровень ртути содержится в подземной воде - 1-3 мкг/л. Сорбционные технологии, традиционно используемые для извлечения тяжелых металлов из водных растворов, являются достаточно эффективными.

Целью данной работы являлось исследование сорбции ионов ртути ( $\text{Hg}^+$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ) на углеродных древесных сорбентах при влиянии pH, температуры, продолжительности процесса и концентрации исходных веществ.

В качестве сорбента был использован углеродный сорбент древесной природы, сухие шишки сосны обыкновенной (лат. *Pinus sylvestris*), модифицированный 10 М раствором ортофосфорной кислоты.

Установлено, что в слабощелочной среде (pH=8) наблюдается максимальное значение сорбционной емкости для ионов  $\text{Hg}^+$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ . Максимальная степень очистки составляет -99,80 для ионов  $\text{Hg}^+$ , 96,95% для ионов  $\text{Hg}^{2+}$ . Также были рассчитаны термодинамические параметры сорбции, которые были необходимы для трактовки механизмов сорбции.

Таким образом, установлено, что сорбент, отличающийся низкой стоимостью, способен качественно очистить водный раствор, при этом концентрация ионов  $\text{Hg}^+$ ,  $\text{Hg}^{2+}$  будет во много раз меньше предельно допустимой концентрации.

## **СТАБИЛЬНОСТЬ ДИСПЕРСНЫХ МАГНИЙСИЛИКАТНЫХ СИСТЕМ**

**П.В. Дыленок**

Научный руководитель - Е.А. Смирнова, канд. хим. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Как известно, дисперсные силикатные системы находят широкое применение для изготовления смазочно-охлаждающих жидкостей, а также в качестве присадок при формовании полимерных изделий. Преимуществом таких систем является то, что они приготовлены на основе водных растворов. Целью данной работы было изучение стабильности дисперсных магнийсиликатных систем различного состава.

Ранние исследования агрегативной устойчивости водных магнийсиликатных и алюмосиликатных систем, их зависимость от состава, концентрации компонентов и времени диспергирования позволили установить оптимальный состав для их внедрения в производство в качестве присадок при формовании резиновых изделий. С целью установления стабильности дисперсий представляло интерес выявить зависимость времени отстаивания от состава магнийсиликатных дисперсий.

В данной работе проведено изучение зависимости агрегативной устойчивости магнийсиликатных систем различного состава от времени отстаивания. Влияние концентрации силикатов на агрегативную устойчивость изучаемых дисперсных систем проводили при массовой доле силиката от 10 до 40 % с использованием дисперсии со средним размером частиц 15 мкм. В качестве связующего использовался водно-спиртовой раствор. Состав дисперсии контролировался методом ИК-спектроскопии на приборе ИК-Фурье RX1 фирмы Perkin-Elmer. Образцы анализировали в виде таблеток в бромиде калия или в виде суспензии в вазелиновом масле. Дисперсные силикатные системы получали при постоянном перемешивании при температуре 20-60 °С.

Как показали результаты, при всех составах магнийсиликатных дисперсных систем с увеличением времени отстаивания уменьшается агрегативная устойчивость, причем при концентрации силиката 35 % она достигает минимального постоянного значения. Сравнение данных результатов с алюмосиликатными дисперсиями указывает, с одной стороны, на симбатную зависимость полученных данных, а, с другой стороны, на большую стабильность изученных магнийсиликатных дисперсных систем при всех изученных концентрациях, что, вероятно, связано с большим поляризующим действием ионов алюминия.



**ПОЛУЧЕНИЕ ОКСИГИДРОКСИДА ЖЕЛЕЗА  
И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА  
ЕГО ТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕГИДРАТАЦИИ**

**Е.В. Махрова**

Научный руководитель – Л.С. Ещенко, д-р техн. наук, профессор  
*Белорусский государственный технологический университет*

Слоистые оксигидроксиды металлов, в частности, оксигидроксид алюминия, содержит в своем составе, помимо структурной, неструктурную воды, молекулы которой локализованы в межслоевом пространстве, что оказывает влияние на свойства соединения. Известно, что  $\text{AlOOH}$  является изоморфным с  $\text{FeOOH}$ , однако в литературе не обнаружено данных о наличии молекул неструктурной воды в составе оксигидроксида железа. Поэтому данная работа посвящена получению оксигидроксида железа и исследованию процесса и продуктов его термической дегидратации.

Оксигидроксид железа получали непрерывно методом химического осаждения в системе  $\text{FeCl}_3$  – основание – вода при значениях pH реакционной среды 7,5, 9,5 и 12,0, с последующим старением при температуре 80-85 °С в течение 48 часов. Суспензию фильтровали, осадок промывали и сушили до постоянной массы.

Согласно рентгенофазовому анализу, осадок, образующийся в результате осаждения и старения при pH 7,5, является рентгеноаморфным, при значении pH 9,5 в осадке присутствует кристаллическая фаза, идентифицированная как  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  (гематит). Повышение значения pH осаждения и старения до 12,0 при прочих равных условиях приводит к формированию кристаллической фазы гетита  $\alpha\text{-FeOOH}$ .

По результатам химического анализа образцов, высушенных при температуре 70-75 °С до постоянной массы, в составе рентгеноаморфного осадка содержится 4,6 моль  $\text{H}_2\text{O}$  на 1 моль  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . В осадке, полученном при значении pH 9,5, на 1 моль  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  приходится 0,6 моль  $\text{H}_2\text{O}$ , что связано, скорее всего, с наличием, наряду с кристаллической, рентгеноаморфной фазы. Брутто-формулу осадка, полученного при осаждении и старении при значении pH 12,0, можно представить как  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 1,3\text{H}_2\text{O}$ , при этом 1 моль  $\text{H}_2\text{O}$  приходится на долю структурной воды, остальные 0,3 моля – неструктурной, которая, согласно термическим исследованиям, удаляется при температуре 70-200 °С. Отщепление структурных OH-групп происходит в интервале температур 200-400 °С и сопровождается кристаллизацией оксида железа. На ИК-спектрах данного образца присутствуют полосы валентных колебаний OH-групп молекул воды при 3390 и 3160  $\text{см}^{-1}$ , смещенные в область низких частот, что указывает на наличие молекул  $\text{H}_2\text{O}$ , нагруженных сильной водородной связью с OH-группами, координированными катионом  $\text{Fe}^{3+}$ .

## ОСОБЕННОСТИ СОСТОЯНИЯ МОЛЕКУЛ ВОДЫ В ОРТОФОСФАТАХ СОСТАВА $\text{MePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Е.В. Махрова

Научный руководитель – Л.С. Ещенко, д-р техн. наук, профессор  
*Белорусский государственный технологический университет*

Ортофосфаты состава  $\text{MePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , где  $\text{Me} = \text{Al}, \text{Fe}, \text{In}, \text{Ga}$ , имеют две структурные модификации орторомбическую и моноклинную и являются комплексными соединениями. Молекулы  $\text{H}_2\text{O}$  в моноклинной структуре образуют ближнее окружение катиона и располагаются во внутренней сфере, в орторомбической – заполняют внутреннюю и внешнюю сферу. Структура молекул воды может быть сильно искажена под влиянием катиона, как сильного комплексообразователя и фосфат-иона, как аниона с выраженными протоноакцепторными свойствами. В результате этого гидратная  $\text{H}_2\text{O}$  способна диссоциировать под действием электрического поля с образованием протона, подвижность которого определяется структурой гидрата, природой катиона и кислотного остатка.

В данной работе исследованы ортофосфаты состава  $\text{MePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , где  $\text{Me} = \text{Al}, \text{Fe}$  и продукты их частичной дегидратации. Ортофосфат алюминия с орторомбической структурой получали кристаллизацией при 100 °С из алюмофосфатного разбавленного раствора ( $\text{H}_2\text{O}:\text{Al}_2\text{O}_3 = 503,0$ ), с моноклинной – из концентрированного ( $\text{H}_2\text{O}:\text{Al}_2\text{O}_3 = 15,8$ ). Ортофосфат железа получали гидротермальной обработкой свежееосажденного рентгенаморфного осадка фосфата железа при температуре 100 °С и значении pH среды 3,2-3,4 для орторомбической модификации, 1,0-1,2 – для моноклинной. Преобладающий размер частиц для ортофосфатов алюминия находится на уровне 0,05–3,0 мкм, ортофосфатов железа – 5,0-20,0 мкм.

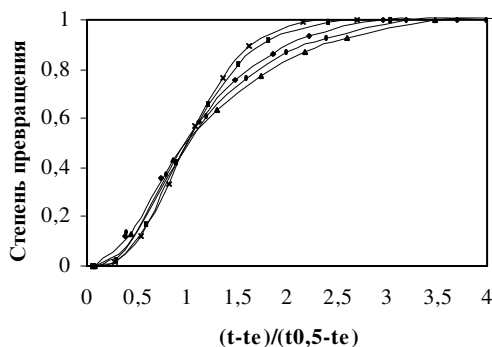
Установлено, что обезвоживание ортофосфатов алюминия в изотермических условиях происходит в интервале температур 95-100 °С, ортофосфатов железа – 120-200 °С. Согласно ИК-спектрам энергетическое состояние двух молекул кристаллогидратной воды в модификациях исследуемых ортофосфатов существенно отличается. Полосы валентных колебаний  $\text{OH}^-$ -групп молекул воды при 3460, 3380 и 3160  $\text{см}^{-1}$  указывают на наличие различных типов водородной связи, которые можно отнести к  $\text{Me}^{3+} \dots \text{H}_2\text{O} \dots \text{H}_2\text{O}$  и  $\text{Me}^{3+} \dots \text{H}_2\text{O} \dots \text{OPO}_3$ , где  $\text{Me} = \text{Al}, \text{Fe}$ . Признаком присутствия гидроксильных групп, которые находятся в ближнем окружении катиона, являются полосы валентных  $\text{OH}$ -колебаний при 3560 и 3590  $\text{см}^{-1}$ , характерные для орторомбической модификации, состав которой можно представить как  $[\text{Me}(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})]\text{HPO}_4$ . Такая же закономерность характерна и для модификаций ортофосфатов индия и галлия.

# КИНЕТИКА РАСТВОРЕНИЯ КАК СПОСОБ ДИАГНОСТИКИ ТОНКОЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ОКСИДА ЖЕЛЕЗА

К.С. Суханова, Л.Г. Аниканова

Научный руководитель – Л.Г. Аниканова, канд. хим. наук, доцент  
Ярославский государственный технический университет

Тонкая кристаллическая структура (ТКС) является одной из основных характеристик структуры образца, определяющей его активность в реакциях. ТКС определяется такими параметрами как, размер областей когерентного рассеяния (ОКР), величина остаточных микроискажений и вероятность образования дефектов упаковки. Целью работы является выяснение взаимосвязи кинетических параметров растворения в соляной кислоте с характеристиками ТКС образцов гематита различной термической и химической предыстории.



**Рис. 1. Зависимость степени превращения  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  от приведенного времени:**

◆ - Сульфат 910-920 К, ● - Сульфат 940-960 К, × - Карбонат 830-950 К,  
□ - Карбонат 870-890 К, Δ - Соль Мора 960-980 К

**Таблица 1. Параметры ТКС и кинетические параметры растворения оксида железа в соляной кислоте**

Предыстория	$D_{300}$ , нм	$\sqrt{\langle \epsilon^2 \rangle}$	$t_{0,5}$ , мин 340 К	$t_{0,5}$ , мин 350 К	$B_{s(i)}$	$k_i$ , нм/мин
Сульфат 910-920 К	79	8,3	627	581	50	0,21
Сульфат 940-960 К	82	7,9	689	653	40	0,19
Карбонат 830-850 К	42	15,6	323	281	10	0,49
Карбонат 870-890 К	79	9,3	524	482	15	0,25
Соль Мора 960-980 К	100	3,6	717	702	100	0,18

Для обработки результатов кинетических исследований использовали модель мгновенного зародышеобразования на поверхности твердого реагента, предложенную Б. Дельмоном. Кинетические параметры растворения можно объяснить, учитывая эффекты, связанные с влиянием предыстории гематита на его тонкую кристаллическую структуру. Высокое значение  $k_i$  гематита является следствием больших значений величины среднеквадратичных микроискажений и наличия мелких блоков мозаики. Увеличение температуры приготовления образцов приводит к увеличению размера областей когерентного рассеяния (ОКР) и снижению величины среднеквадратичных микроискажений, что обуславливается падением скорости роста зародышей растворения.

## МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗНОВАЛЕНТНЫХ ФОРМ ЦЕРИЯ

**Ж.Г. Тихомирова, Н.В. Дворецкий**

Научный руководитель – Н.В. Дворецкий, д-р хим. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

В настоящее время аналитическая химия набирает обороты и характеризуется многими изменениями. Возрастает интерес к редкоземельным элементам, в частности к церию, который склонен в соединениях проявлять две валентности: 3+ и 4+. Рассмотрены некоторые новые возможности редоксметрического, спектрофотометрического и люминесцентного обнаружения и количественного определения Се (III, IV) при совместном присутствии разновалентных форм, которые являются наиболее перспективными.

Для спектрофотометрического метода определения лантанидов используют характеристические узкополосные спектры поглощения в УФ-, видимой и ближней ИК-области растворов их солей или комплексных соединений. Для определения церия (III) характерно использование большого числа чувствительных групповых реагентов, дающих аналогичные реакции с другими ионами лантанидов.

Люминесцентный метод обеспечивает селективное определение отдельных лантанидов в их смеси с более низкими пределами обнаружения, чем спектрофотометрический и обладает достаточно высокой чувствительностью. Квантовый выход люминесценции солей церия в пределах погрешности эксперимента практически равен единице. Известно, что собственной люминесценцией обладает ион Се (III).

Работ, посвященных определению разновалентных форм церия при совместном присутствии, крайне мало. Как правило, авторы применяют стандартную схему проведения анализа: определение церия (IV), используя его окислительные свойства, определение общего церия после перевода его в одну из валентных форм, определение церия (III) по разности Се общ. – Се (IV). Авторами разработаны различные подходы к определению разновалентных форм церия при их различном соотношении в труднорастворимых неорганических материалах.

Анализ литературных данных показывает, что, несмотря на многообразие спектрофотометрических и люминесцентных методик определения церия, задача определения валентных форм церия при совместном присутствии продолжает оставаться актуальной.

## **ПЕРЕРАБОТКА НИЗКОСОРТНЫХ ФОСФОРИТОВ В КОМПЛЕКСНЫЕ УДОБРЕНИЯ**

**О.И. Ларионова, О.Ю. Глухатаренко**

Научный руководитель – А.Ф. Минаковский, канд. техн. наук, доцент  
*Белорусский государственный технологический университет*

Из трех основных питательных компонентов минеральных удобрений – азота, фосфора, калия – особую проблему в обеспечении повышения плодородия почв составляет организация фосфорного питания растений. Это обуславливает увеличение производства фосфорсодержащих удобрений, основой которого является фосфатно-сырьевая база.

В настоящее время сырьевое обеспечение производства фосфорсодержащих удобрений лимитируется нехваткой высококачественного фосфатного сырья, в связи с чем проблема использования бедных фосфоритов для получения удобрений приобрела особую актуальность. Для таких фосфоритов не разработаны технологии обогащения с получением концентратов пригодных для кислотной переработки ввиду низкого содержания фосфора и значительного содержания примесных компонентов, но они являются потенциально пригодным сырьем для производства фосфорных и комплексных удобрений.

С точки зрения вовлечения низкосортного фосфатного сырья в производство комплексных удобрений, представляет интерес рассмотреть метод химической активации фосфат-иона с использованием в качестве реагентов азотных или калийных составляющих комплексных удобрений.

Авторами проведены исследования по активации фосфоритной муки Верхнекамского месторождения (РФ) и фосфоритов месторождения Каратау (Казахстан) для перевода  $P_2O_5$  ее в усвояемую форму в составе NP и NPK удобрений. Установлено, что при взаимодействии насыщенных растворов сульфата аммония, карбамида и хлорида калия с фосфоритами (массовое соотношение фосфорита и добавки варьировали от 1:4 до 4:1), относительное содержание усвояемой формы фосфора повышается на 11-50 отн. % для Верхнекамского фосфорита, и на 10-38 отн. % для фосфорита Каратау.

Отсутствие антагонистического действия исследуемых солевых добавок как на фосфатное сырьё, так и друг на друга позволяет сделать вывод о беспрепятственном их совместном использовании при получении комплексных удобрений различных марок, а вовлечение в сферу промышленного производства комплексных удобрений низкосортных фосфатного сырья позволит существенно расширить сырьевую базу, при малых капитальных затратах и простой технологии производства.

## **РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ МАСС ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЛИТОК ТИПА «ГРЕС» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАОЛИНОВ РБ**

**И.О. Новикова**

Научный руководитель – Р.Ю. Попов, канд. техн. наук, ассистент  
*Белорусский государственный технологический университет*

Каолины – это мономинеральные глинистые горные породы, состоящие в основном из минерала каолинита; в качестве примесей возможен кварц, полевой шпат, слюды и небольшие количества других загрязняющих минералов. Каолины характеризуются меньшей, чем глины, пластичностью и повышенной белизной обожженного черепка.

Известно, что каолины, вводимые в керамические массы, улучшают их формовочные и реологические свойства, повышают механическую прочность изделий в воздушно-сухом и обожженном состоянии, термическую и химическую стойкость и белизну после обжига, что обусловлено ценными особенностями их главного минерала – каолинита. Эти показатели максимально проявляются при высокой однородности его химического, минералогического и гранулометрического состава, что может быть достигнуто их обогащением.

В настоящей работе приведены результаты исследования свойств керамических материалов, в частности керамогранита, полученных с использованием каолинов Республики Беларусь месторождений «Ситница» и «Дедовка».

Известно, что в качестве компонента керамических масс для производства плиток типа «грес» являются каолины. На сегодняшний день данный сырьевой материал является предметом импорта. Использование отечественных каолинов позволило бы расширить сырьевую базу керамической отрасли, а также снизить себестоимость продукции.

На кафедре технологии стекла и керамики проведены работы на предмет возможности использования природных и обогащенных каолинов указанных выше месторождений для получения керамогранита. Как показали исследования, образцы синтезированной керамики по своим показателям приближаются к заводским. Так, например, керамика, полученная с использованием каолина «Ситница» (обогащенного мокрым способом) после обжига при 1200 °С характеризуются следующими показателями свойств: водопоглощение – 0,4-0,6 %, прочность при изгибе 35,3-37,0 МПа, ТКЛР –  $(7,5-7,8) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ .

## **РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ СТЕКОЛ ДЛЯ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННОГО ВОЛОКНА**

**Т.Л. Лютько, Л.Ф. Папко**

Научный руководитель – Л.Ф. Папко, канд. техн. наук, доцент  
*Белорусский государственный технологический университет*

При производстве непрерывного стекловолокна большинство производителей использует бесщелочное алюмоборосиликатное стекло, включающее до 10 % мас. оксида бора. Однако высокая летучесть данного компонента, составляющая 8-15 %, обуславливает нестабильность химического состава стекла, повышает издержки и ухудшает экологию производства.

Целью исследования является разработка составов стекол для производства стекловолокна с высокими диэлектрическими свойствами на основе системы  $\text{MgO}-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ . Область составов синтезированных стекол включает, % мас.:  $\text{SiO}_2$  53–65;  $\text{CaO} + \text{MgO}$  22–32;  $\text{B}_2\text{O}_3$  0–10,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  10–13.

Температура синтеза стекол составляет  $(1550 \pm 10)^\circ\text{C}$ . По результатам градиентной термообработки увеличение содержания  $\text{CaO}$  и  $\text{SiO}_2$  за счет  $\text{B}_2\text{O}_3$  приводит к росту кристаллизационной способности, что следует учитывать при разработке технологических режимов вытягивания волокна.

Химическая устойчивость стекол оценивалась зерновым методом при обработке 1н раствором соляной кислоты. Установлено, что потери массы образцов стекол при уменьшении содержания  $\text{SiO}_2$  от 65 до 53 % мас. возрастают от 3 до 20 %, при этом более существенное снижение показателей кислотостойкости отмечается при содержании  $\text{SiO}_2$  менее 60 %. Это обусловлено снижением степени связности кремнекислородного каркаса и увеличением доли «немостиковых» ионов кислорода, которые проявляют высокую реакционную готовность.

По водостойкости опытные стекла относятся к первому гидролитическому классу. По результатам определения температурной зависимости удельного электрического сопротивления опытных стекол установлено закономерное снижение показателей сопротивления с ростом содержания ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ . При этом показатели удельного электрического сопротивления стекол при температуре  $400^\circ\text{C}$  составляют  $10^7$ – $10^{7,7}$  Ом·м, что отвечает требованиям, предъявляемым к электроизоляционному стекловолокну. По результатам исследования физико-химических свойств разработаны составы стекол на основе системы  $\text{MgO}-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ , в которые в качестве ускорителя варки вводятся добавки  $\text{B}_2\text{O}_3$  в количестве 1–2 % мас. Использование малоборных стекол для получения электроизоляционного непрерывного стекловолокна улучшает экономические и экологические показатели производства стекловолокнистых материалов.

## **ИОНООБМЕННОЕ УПРОЧНЕНИЕ ЛИСТОВЫХ СТЁКОЛ ТВЁРДОФАЗНЫМИ РЕАГЕНТАМИ**

**А.И. Марухин, А.Ю. Синяк, А.С. Шишковец**

Научный руководитель – Ю.Г. Павлюкевич, канд. техн. наук, доцент  
*Белорусский государственный технологический университет*

В настоящее время в Беларуси метод низкотемпературного ионного обмена применяют в производстве стёкол для противогазов и защитных очков. При этом упрочнение стекла проводится в расплавах солей. Особенностью этого метода является использование в технологии обработки стекла крупногабаритных энергозатратных солевых ванн малой производительности. Использование твёрдофазных реагентов является более перспективным способом повышения прочности стёкол и позволяет снизить энерго- и материалоемкость процесса.

Целью данной работы являлась разработка технологии упрочнения стёкол для защитных очков с использованием твёрдофазных реагентов.

В качестве реагентов были использованы нитрат калия  $\text{KNO}_3$ , сульфат калия  $\text{K}_2\text{SO}_4$  и карбонат калия  $\text{K}_2\text{CO}_3$ . Упрочняющие реагенты применялись, как в чистом виде, так и в различных соотношениях. Их наносили на поверхность листового стекла в виде суспензий и насыщенных водных растворов. Стёкла упрочняли, проводя их обработку при температурах 500–600 °С и времени выдержки 15–45 минут.

Нанесение упрочняющих смесей показало, что наилучшие результаты показали композиции солей  $\text{KNO}_3$  и  $\text{K}_2\text{SO}_4$ . Нанесение смесей данных реагентов позволило увеличить микротвёрдость стекла от значений 5270–5400 МПа для исходного стекла до значений 6500–7200 МПа. При низких температурах особенно активным является нитрат калия – это связано с низкой температурой плавления используемой соли. Однако после длительного воздействия нитрата калия на поверхность стекла при повышенной температуре качество его поверхности может ухудшаться за счет образования матовости, которая в свою очередь, обусловлена разложением солей. С целью сохранения качества поверхности стека при его обработке упрочняющими смесями, содержащими преобладающее количество нитрата калия, следует ограничить максимальную температуру значениями 550 °С, а время выдержки 30 минутами.

Таким образом, в результате проведенной работы получены стёкла для защитных очков, упрочнённые твердофазными реагентами при низкотемпературном ионном обмене. Установлено, что смеси солей упрочняют стекло в большей степени, чем реагенты, состоящие из одного вида соли; нанесение смесей на поверхность стекла с последующей обработкой позволяет повысить их прочность на 30 % и более.



## РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ ГЛУШЕНЫХ СТЕКОЛ С ПОВЫШЕННОЙ ТЕРМОСТОЙКОСТЬЮ

**Т.Т. Стабровская**

Научный руководитель – А.П. Кравчук, канд. техн. наук, ст. преподаватель  
*Белорусский государственный технологический университет*

Глушеные стекла находят широкое применение для производства сортовой посуды, отличающейся высоким декоративным эффектом. Использование глушеной посуды в процессе приготовления и подогрева различных блюд в СВЧ-печах, сопровождающегося многократными перепадами температуры, обуславливает повышенные требования к термостойкости изделий.

Целью данной работы являлась разработка составов глушенных стекол для производства сортовой посуды с повышенной термостойкостью.

Глушение стекол обеспечивается процессом фазового разделения: формированием кристаллической фазы, или ликвацией. Значительный интерес представляет получение глушенных стекол путем ликвационного разделения, что позволяет избежать применения в качестве глушителей токсичных, дорогостоящих и дефицитных соединений.

На основе данных литературы для синтеза опытных стекол, склонных к ликвационному разделению, выбрана область системы  $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{ZnO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ , в которой содержание  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$  и  $\text{Na}_2\text{O}$  варьировалось в интервале 56–65, 7–16 и 5–14 % мас. соответственно, а содержание остальных оксидов оставалось постоянным. Для усиления процесса ликвации вводили  $\text{CaO}$  и  $\text{ZnO}$  в количестве 11 и 8 % мас.

Синтез опытных стекол осуществлялся в фарфоровых тиглях в газовой стекловаренной печи при температуре 1500 °С с выдержкой 1 ч.

Проведенные исследования выработочных свойств и зависимости температурного коэффициента линейного расширения опытных стекол показали, что обеспечение их глушения и низких значений ТКЛР (не более  $52,0 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ ) достигается при минимальном содержании  $\text{Na}_2\text{O}$  – 5 % мас. Повышение количества  $\text{B}_2\text{O}_3$  в составах стекол усиливает степень глушения, что, по-видимому, связано с развитием ликвационного разделения, одновременно снижая ТКЛР. Введение  $\text{Na}_2\text{O}$  в составы опытных стекол вызывает обратный эффект. Согласно результатам проведенных исследований, осуществлен выбор стекла оптимального состава, которое характеризуется устойчивым глушением при выработке и обладает следующими значениями свойств: ТКЛР –  $52,0 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ ; температура начала размягчения – 710 °С; микротвердость – 6600 МПа; водостойкость – 2-й гидролитический класс; плотность – 2547 кг/м<sup>3</sup>.

## ОПТИЧЕСКИЕ СТЕКЛА ДЛЯ ОЧКОВЫХ ЛИНЗ

Ю.А. Елизар, М.В. Дяденко

Научный руководитель – М.В. Дяденко, канд. техн. наук, ассистент  
*Белорусский государственный технологический университет*

Настоящая работа посвящена разработке составов оптических стекол с высоким показателем преломления и минимально возможным значением плотности для изделий очковой оптики.

Для решения поставленной задачи в качестве основы выбрана система  $K_2O-TiO_2-SiO_2$ . Синтез стекол выполнялся в газовой печи в фарфоровых тиглях при максимальной температуре  $(1420 \pm 10)^\circ C$ .

По результатам градиентной термообработки установлено, что определяющее влияние на кристаллизационную способность опытных стекол оказывает оксид кремния. Так, с повышением его содержания до значений 65–70 % мол. стекла характеризуются ярко выраженной объемной кристаллизацией.

Показатель преломления опытных стекол изменяется от 1,556 до 1,687. Основным требованием, предъявляемым к получаемым стеклам, является наличие показателя преломления, составляющего не менее 1,60. Этому требованию отвечают составы с содержанием оксида титана 20–30 % мол.

Плотность опытных стекол изменяется от 2415 до 2790 кг/м<sup>3</sup>. Установлено, что с увеличением количества оксида щелочного металла от 15 до 35 % мол. при постоянном содержании  $TiO_2$ , равном 10 мол. %, значение данного показателя повышается на 180 кг/м<sup>3</sup>. Оптимальным сочетанием показателя преломления и плотности характеризуются стекла, включающие 20–25 % мол.  $TiO_2$  и 10–15 % мол.  $K_2O$ .

В процессе производства очковой линзы заготовка стекла подвергается ряду технологических операций, в том числе механической обработке. Для получения качественного изделия стекло, с одной стороны, должно характеризоваться относительно невысокими показателями микротвердости (3100–3300 МПа), а с другой стороны, низкие значения микротвердости не обеспечат изделию требуемую устойчивость к механическим воздействиям в процессе эксплуатации линзы – царапинам. Установлено, что величина микротвердости определяется содержанием оксида титана в составе стекол и соотношением  $K_2O:TiO_2$ .

По результатам исследований разработан состав оптического стекла на основе системы  $K_2O-TiO_2-SiO_2$  при соотношении  $K_2O:TiO_2$  не менее 0,8, характеризующийся показателем преломления 1,659 и плотностью 2698 кг/м<sup>3</sup>. По сочетанию оптических и технологических свойств стекло может быть рекомендовано для изготовления облегченных очковых линз с высокой оптической силой.

## РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ СТЕКОЛ ДЛЯ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ДЕТЕКТОРОВ

О.И. Луня

Научный руководитель – Е.Е. Трусова, канд. техн. наук, ст. преподаватель  
*Белорусский государственный технологический университет*

Стеклянные сцинтилляторы на основе лития, активированного церием, применяются для нейтронной спектрометрии, нейтронной радиографии, в изучении нефтяных скважин, а также при регистрации альфа, бета и гамма излучения в жестких условиях.

В настоящей работе приведены результаты исследования стекол для сцинтилляционных детекторов на основе  $\text{Li}_2\text{O} - \text{MgO} - \text{BaO} - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{CeO}_2 - \text{SiO}_2$  стеклообразующей системы. Основной проблемой при синтезе таких материалов является неконтролируемый переход ионов  $\text{Ce}^{3+}$  в четырехвалентное состояние, что приводит к тушению люминесценции и ухудшению эксплуатационных характеристик. С целью поддержания ионов церия в форме  $\text{Ce}^{3+}$ , в качестве восстановителя в состав шихты дополнительно вводился углерод (С) в количестве 1-2 % мас. Синтез стекол проводили в фарфоровых тиглях емкостью 100 мл в газовой печи при температуре 1400–1420 °С с выдержкой при максимальной температуре 2 часа. В процессе синтеза поддерживались восстановительные условия варки. Исследуемые стекла хорошо проварены и осветлены, без признаков желтого окрашивания, обусловленного присутствием церия в  $\text{Ce}^{4+}$  состоянии.

Изучены основные физико-химические характеристики стекол. Установлено, что все стекла кристаллизуются в интервале температур 630–900 °С, что хорошо согласуется с известными литературными данными по Се-содержащим стеклам. Температура начала размягчения стекол лежит в интервале 475–500 °С. ТКЛР синтезированных стекол изменяется в пределах  $(81,7-90,9) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ . Плотность стекол изменяется от 2426 до 2442 кг/м<sup>3</sup>. Исследовано оптическое светопропускание синтезированных стекол в диапазоне длин волн 300–800 нм. Показано, что полоса поглощения стекол лежит в области 350–380 нм. Крутизна нарастания оптической плотности 3,5 при длине волны 380 нм. Максимальное пропускание в видимой части спектра 85 % при пересчете на толщину образца 2 мм. На спектрах фотолюминесценции наблюдается появление интенсивной полосы, характерной для сигнала от ионов  $\text{Ce}^{3+}$ , с максимумом около 360–420 нм.

**ПОЛУЧЕНИЕ МАЛОФОСФАТНЫХ СМС****О.Ю. Федорова**

Научный руководитель – Л.С. Ещенко, д-р техн. наук, профессор  
*Белорусский государственный технологический университет*

Одним из компонентов синтетических моющих средств (СМС) являются фосфаты. Однако, попав со сточными водами в окружающую среду, фосфаты приводят к бурному развитию водорослей и быстрому зарастанию водоемов. Поэтому стоит вопрос о частичной или полной замене фосфатов в составе СМС.

Целью данной работы явилось получение на основе солевой композиции малофосфатного СМС нейтрализацией различных кислот карбонатом натрия. Для получения моющих средств были использованы матрица, содержащая NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaHCO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, ПАВ, отдушка, а также фосфорная, лимонная и уксусная кислоты. Исследуемыми факторами явились концентрация кислот и массовые соотношения между Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> и кислотами. Образцы получали в блендере путем напыления на матрицу, содержащую 33 % мас. Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, растворов кислот. Определение фазового состава полученных СМС осуществляли с использованием рентгенофазового анализа. Образцы СМС использовали для реagentного устранения жесткости воды, которая составляла 3,9 ммоль-экв/л.

Установлено, что при напылении фосфорной кислоты на матрицу температура увеличивается до 45 °С, уксусной – 41 °С, лимонной – 39 °С. Согласно рентгенофазовому анализу, полученные образцы представляют смесь карбонатсодержащих фаз, солей кислот, а также NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Карбонатсодержащей фазой является Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>·NaHCO<sub>3</sub>·2H<sub>2</sub>O, NaHCO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O. Соли ортофосфорной, лимонной или уксусной кислот входят в состав образцов в виде кристаллогидратов. Так при напылении уксусной кислоты на матрицу образуется C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>NaO<sub>2</sub>·3H<sub>2</sub>O, лимонной – C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>Na<sub>3</sub>O<sub>7</sub>·5H<sub>2</sub>O, ортофосфорной – Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>·12H<sub>2</sub>O. Отмечено, что степень устранения жесткости воды полученными образцами СМС колеблется в пределах от 17,9 до 36 % при их расходе 0,15 г/300 г воды. Наиболее эффективно снижает жесткость воды образец СМС, содержащий карбонаты и ацетат Na (степень устранения жесткости – 36 %). При устранении жесткости воды образцом СМС, содержащим карбонаты и фосфаты, остаточная жесткость воды составляет 2,9 ммоль-экв/л. Отмечено, что с увеличением массы навески СМС повышается степень устранения жесткости.

Согласно экспериментальным данным разработан оптимальный состав малофосфатных СМС с содержанием фосфатов в пересчете на P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> не выше 5 % мас.

## НОВЫЕ СОСТАВЫ ЛИСТОВЫХ СТЕКОЛ

**В.В. Шут, И.М. Терещенко**

Научный руководитель – И.М. Терещенко, канд. техн. наук, доцент  
*Белорусский государственный технологический университет*

Увеличение производственных мощностей по выпуску изделий из стекла в Республике Беларусь, прежде всего листового, привело к соответствующему росту потребления сырьевых материалов. При этом имеют место определенные трудности с поставками полевого шпата, поставляемого Вишневогорским ГОК (РФ). В связи с этим обстоятельством актуальной стала необходимость снижения  $Al_2O_3$  в составе листового стекла, источником которого является полевой шпат. При этом следует считаться со следующими последствиями: повышением склонности к кристаллизации, изменением физико-химических свойств стекла, а также характеристических температур, определяющих режим его варки и формования. Для нейтрализации последствий снижения содержания  $Al_2O_3$  в листовом стекле требуется изменение концентрации других основных оксидов.

С учетом вышесказанного было спроектировано 15 составов опытных стекол, в которых снижение содержания  $Al_2O_3$  компенсировалось путем увеличения  $MgO$  от 2,7 до 5,3 % мас. при одновременном варьировании концентрации оксидов  $SiO_2$ ,  $CaO$ ,  $Na_2O$ .

Свойства синтезированных опытных стекол сопоставлялись с характеристиками стекла промышленного состава ОАО «Гомельстекло» (состав № 1), полученного в тех же условиях.

На основе оценки варочных, выработочных характеристик и результатов определения кристаллизационных способностей отобраны 4 состава, для которых определена температурная зависимость вязкости в интервале  $10^2$ – $10^{13}$  Па·с, что позволило опеределить значения характеристических температур, важных для технологического процесса производства флоат-стекла и рассчитать технологические индексы по методике Emhart. Полученные данные позволяют сделать следующие выводы:

- снижение содержания  $Al_2O_3$  уменьшает скорость формования;
- замещение  $Al_2O_3$  на  $MgO$  снижает ширину температурного интервала формообразования, при этом интервал фиксации формы возрастает;
- отмечается повышение кристаллизационной устойчивости при замещении  $Al_2O_3$  на  $MgO$ .

Полученные данные изучения свойств малоглиноземистых стекол позволили установить возможность снижения содержания  $Al_2O_3$  на 20–25 % в сравнении с традиционными составами флоат-стекла.

## **ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ГРАНУЛИРОВАННОГО МЕЛА**

**А.Н. Богомолова, И.М. Терещенко**

Научный руководитель – И.М. Терещенко, канд. техн. наук, доцент  
*Белорусский государственный технологический университет*

Основными потребителями производимого в Республике Беларусь мела являются животноводство, производство вяжущих материалов и строительных смесей. Крупными потребителями отечественного мела могли бы стать стекольная, лакокрасочная и резинотехническая отрасли, производство бумаги полимеров. Однако природный мел имеет обыкновение слипаться в трудноразрушимые агрегаты, слеживаться, имеет малую сыпучесть, поглощает влагу, т.е. относится к малотехнологичным компонентам. Кроме того низок уровень качества производимого мела: белизна не более 75 %, содержание основного вещества в пределах 92–94 %. В связи с этим ряд потребителей предпочитают применять мел, закупаемый за рубежом. Снизить долю импортируемого в республику мела возможно за счет организации производства нового продукта – мела с модифицированной поверхностью, а также за счет повышения его качества.

Проведенными исследованиями показана целесообразность организации выпуска в Республике Беларусь модифицированного мела на основе мокрого способа производства. Для этого имеются следующие основания:

- возможность введения модифицирующих добавок без существенной перестройки технологического процесса при обеспечении их равномерного распределения по объему продукта;
- обеспечивается низкая концентрация модифицирующих добавок;
- достигаются высокие показатели сыпучести и несмачиваемости модифицированного продукта.

В результате проведенных исследований по модифицированию волковысского мела достигнута степень гидрофобизации не ниже 95 % при расходе гидрофобизатора до 0,25 % по массе. Эти данные свидетельствуют о равномерном распределении добавки на поверхности частиц и прочном закреплении ее молекул (на уровне хемосорбции), что обеспечивается термовлажностным режимом адсорбции. В результате модифицирования мел приобретает новые свойства: сыпучесть и гидрофобность.

Дополнительно установлено, что содержание нерастворимого остатка в меле может быть снижено до 0,5–0,8 % при использовании метода гидравлической классификации в восходящем потоке. Это обстоятельство позволяет повысить качество продукта до марок ММО, ММСГ-1 и существенно расширить области его применения.

## **ОЦЕНКА МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БРОМ-ИОНОВ В ПРИСУТСТВИИ ХЛОР-ИОНОВ**

**С.С. Сергеев, М.Е. Чалова, Н.С. Кичева**

Научный руководитель – Н.С. Кичева, канд. хим. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

Цель настоящей работы – определение метрологических характеристик методики анализа бромной воды. Бромная вода используется в медицине как успокоительное средство. При длительных приемах бромной воды возможно развитие хронического отравления бромом – бромизма. При явлениях бромизма необходимо обильное введение в организм воды и хлор-ионов, поскольку хлор способствует вытеснению брома из организма.

В связи с вышеизложенным актуальной задачей является разработка методики определения бром-ионов в присутствии хлор-ионов и оценка ее метрологических характеристик.

В качестве метода исследования выбран метод потенциометрического анализа. Основным законом в потенциометрии является закон Нернста, устанавливающий зависимость окислительного-восстановительного потенциала индикаторного электрода (ЭДС электродной системы) от активности анализируемого иона. Индикаторным электродом служил бром-селективный, электродом сравнения – хлорсеребряный. Проведена предварительная подготовка электродов:

Исследования проводили на потенциометре-иономере И-160 МИ, предназначенным для измерения показателей активности бром-ионов и ЭДС электродной системы.

Для оценки метрологических характеристик были приготовлены стандартные растворы бромистого калия с  $C(KBr) = 0.1$  моль/дм<sup>3</sup> и хлористого калия с  $C(KCl) = 0.1$  моль/дм<sup>3</sup>. Из исходного стандартного раствора KBr путем разбавления приготовлены две серии стандартных растворов с концентрациями бром-ионов от  $10^{-1}$  - до  $10^{-5}$  моль/дм<sup>3</sup>. В первой серии в качестве растворителя использовали дистиллированную воду, во второй – стандартный раствор хлорида калия. ЭДС электродной системы для всех растворов измерены на иономере И-160 МИ.

Определены метрологические характеристики методики анализа бромной воды: диапазон измеряемых концентраций бром-ионов; калибровочная характеристика - зависимость ЭДС от активности бром-ионов; коэффициент чувствительности; коэффициент селективности. Коэффициент селективности высокий ( $K=100$ ), что указывает на возможность использования методики для определения бром-ионов в присутствии хлор-ионов.

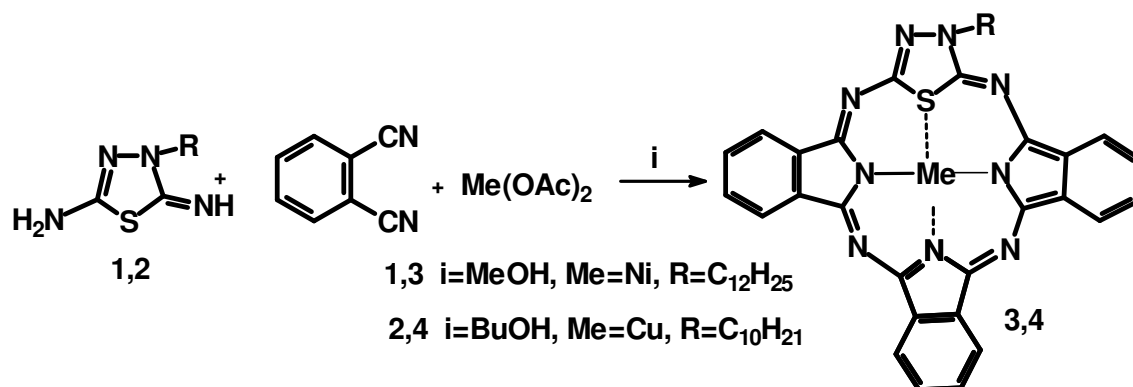
# ТЕМПЛАТНЫЙ СИНТЕЗ МЕДНОГО И НИКЕЛЕВОГО КОМПЛЕКСОВ МАКРОГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКОГО СОЕДИНЕНИЯ С 3N-АЛКИЛ-5-АМИНО-2-ИМИНО-1,3,4-ТИАДИАЗОЛИНОВЫМ ФРАГМЕНТОМ

**М.А. Тютин, Е.В. Максимова, Т.В. Кудаярова**

Научный руководитель - Е.А. Данилова, д-р хим. наук, профессор  
*Ивановский государственный химико-технологический университет*

В отличие от синтетических предшественников – порфирина и фталоцианина, макрогетероциклические соединения (Мс) допускают формирование динамичной координационной полости, различающейся размерами, пространственной конфигурацией, а также количеством и составом входящих в нее атомов. Широчайшие возможности структурной модификации макроциклического остова, не исключающие, в том числе, и включение фармакофорных группировок, введение заместителей по периферии, а также атомов металлов во внутреннюю координационную полость, делают этот класс соединений весьма перспективными для поиска веществ с практически ценными свойствами, в частности, с потенциальной биологической активностью.

Взаимодействием соответствующего 3N-алкил-5-амино-2-имино-1,3,4-тиадиазолина, фталонитрила и соли металла в среде органического растворителя при кипении реакционной массы в течение 45 часов были получены соответствующие металлокомплексы:



Соединения очищали промывкой примесей органическими растворителями в аппарате Сокслета. Полученные соединения представляют собой порошки бордового и темно-желтого цвета для никелевого и медного комплекса соответственно. Строение установлено на основании данных масс-спектрометрии, электронной, ИК спектроскопии, данных элементного анализа.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 12-03-00364а.*



## ОСОБЕННОСТИ РЕАКЦИИ ГИДРИРОВАНИЯ ДИЦИКЛОПЕНТАДИЕНА

**Г.Ю. Копушкина, Н.В. Верещагина, А.И. Новикова**

Научный руководитель – Т.Н. Антонова, д-р хим. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

При изучении реакции гидрирования дициклопентадиена (трицикло [5.2.1.0<sup>2..6</sup>]декадиена-3,8, ДЦПД) водородом в жидкой фазе с использованием растворителей различной природы разработаны условия получения дициклопентена (ДЦП) в качестве целевого продукта реакции. Было показано, что наиболее активным катализатором гидрирования двойных связей ДЦПД является суспендированный в жидкой фазе 1% Pd/C. В его присутствии возможно и последовательное насыщение двойных связей ДЦПД с образованием дициклопентана в качестве конечного продукта реакции.

Известно, что двойные связи ДЦПД неравноценны и одна из них – двойная связь бициклопентенового фрагмента молекулы – является напряженной. Представляло интерес сопоставить реакционную способность двойных связей дициклопентадиена в реакции гидрирования с тем, чтобы установить, которая из них насыщается водородом в процессе получения дициклопентена, как на основании расчетных данных с использованием метода квантовой химии, так и экспериментальным путем.

Для сопоставительной оценки реакционной способности двойных связей квантово-химическим методом в качестве модели ДЦПД и ДЦП использована их статическая  $\pi$ -электронная система. Индексом реакционной способности двойной связи в этом случае служил электростатический член уравнения Клопмана, который рассчитывался исходя из значений зарядов атомов углерода при двойных связях с учетом длины этих связей. Наиболее низким по своему значению оказался индекс реакционной способности двойной связи бициклопентенового фрагмента молекулы ДЦПД, что указывает на относительно высокую ее реакционную способность при гидрировании в дициклопентен (трицикло[5.2.1.0<sup>2..6</sup>]децен-3). Экспериментально было установлено, что скорость поглощения водорода при гидрировании двойной связи бициклопентенового фрагмента молекулы дициклопентадиена в дициклопентен превышает скорость насыщения двойной связи дициклопентена, независимо от температуры реакции в 6,6 раза (растворитель толуол).

Применение толуола в качестве дифференцирующего растворителя в процессе гидрирования дициклопентадиена в дициклопентен с одновременным использованием ряда добавок – функционально замещенных ароматических соединений – позволяет повысить селективность образования дициклопентена с 92 до 99 %.

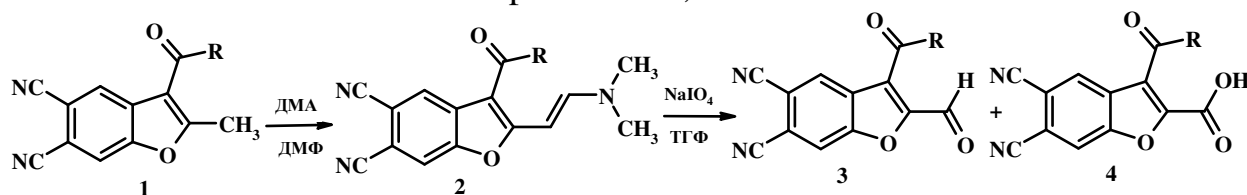
**СИНТЕЗ НОВЫХ 2,3-ДИЗАМЕЩЕННЫХ БЕНЗОФУРАНОВ****С.А. Антоничев, В.А. Норинова, С.И. Филимонов**

Научный руководитель – С.И. Филимонов, д-р хим. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

В последнее время соединения бензофуранового ряда находят все большее практическое применение. Одним из важнейших направлений использования этих соединений является фармакология. На основе бензофуранов разработаны лекарственные препараты, которые обладают бактерицидными, антипротерозойными, анестетическими, антиаритмическими свойствами. Наиболее известными в медицинской практике, являются препараты: амиодарон, дронедаарон (антиаритмические препараты) и бензбромарон (урикозурическое средство). Особый интерес представляют 2-карбоксизамещенные бензофураны, так как они могут использоваться в качестве сильных регуляторов водно-солевого баланса организма.

Jentsch, T.J. Chloride transport in the kidney: lessons from human disease and knockout mice. *J Am Soc Nephrol.* 2005;16:1549-1561



Нами разработаны методы синтеза 2-формилбензофуранов путем окисления 2-метильной группы замещенных бензофуран-5,6-дикарбонитрилов [1]. Обычно для этих целей используют в качестве окислителя  $\text{SeO}_2$  и получают соответствующие альдегиды с удовлетворительным выходом. Однако в случае соединений **1** эта реакция идет крайне медленно – было зафиксировано лишь 2 % целевого продукта в реакционной смеси через 100ч кипячения в диоксане. Поэтому с целью получения 2-формилбензофуранов был разработан двухстадийный метод, основанный на окислении двойной связи аминоэтенильных производных **2**, получаемых из соединений **1**. Установлено, что реакция в зависимости от условий протекает в течение 4-8ч. и приводит к образованию смеси продуктов **3,4**, которые удалось селективно выделить. Соотношение целевых продуктов зависит как от условий проведения реакции, так и от строения исходного субстрата, но, в результате исследований, так и не удалось подобрать условия селективного синтеза каждого из этих продуктов **3** и **4**.

Строение всех полученных соединений **2-4** было установлено на основании совокупности данных ИК-,  $^1\text{H}$  ЯМР-спектроскопии и масс-спектрометрии.

1. Filimonov S.I., Chirkova Zh.V., Abramov I.G., Shashkov A.S., Firgang S.I. and Stashina G.A. // *Mendeleev Commun.* – 2009. – **19**. – P.332.

**ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ МИЦЕЛЛООБРАЗОВАТЕЛЯ  
НА ИНГИБИРУЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ  
2,2,5,5-ТЕТРАМЕТИЛПИРРОЛИН-3-КАРБОКСИ-1-ОКСИЛА**

**М.В. Тихонов, И.В. Москаленко, В.А. Мачтин**

Научный руководитель – В.А. Мачтин, канд. хим. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

В настоящее время усиливается интерес к изучению действия ингибиторов в мицеллярных растворах типа «масло в воде» [1], являющееся моделью биологической клетки. Целью настоящей работы явилось исследование влияния мицеллообразователя на механизм ингибированного окисления метиллинолеата в водных мицеллярных системах в присутствии 2,2,5,5-тетраметилпирролин-3-карбокси-1-оксила.

В данной работе представлены экспериментальные данные и результаты компьютерного моделирования ингибированного окисления метиллинолеата в присутствии стабильного нитроксильного радикала 2,2,5,5-тетраметилпирролин-3-карбокси-1-оксила.

Окисление метиллинолеата проводили в водном фосфатном буфере с  $\text{pH} = 7,4$  при  $37^\circ\text{C}$  с использованием водорастворимого инициатора 2,2'-азобис(2-метилпропионамид)дигидрохлорида, в качестве мицеллообразователя использовали Triton X-100. Для определения концентрации кислорода в системе использовался биологический кислородный монитор YSI-5300A (США).

Было выявлено, что с увеличением концентрации мицеллообразователя скорость неингибированного и ингибированного окисления падает. Вероятно, это связано с уменьшением концентрации субстрата в мицелле. Что позволяет оценить влияние концентрации Triton X-100 на антиоксидантную активность ингибитора.

Список литературы:

1. Zhuravleva, L.A. Assessing the antioxidant activity of certain drugs in oxidation of emulsions // Russian Journal of Physical Chemistry A. – 2011. – Т. 85, № 7. – С. 1130-1134.
2. Рогинский, В.А. Кинетика цепного окисления метиллинолеата в мицеллярных водных растворах додецилсульфата натрия // Кинетика и катализ. – 1996. – Т. 37, № 4. – С. 521.

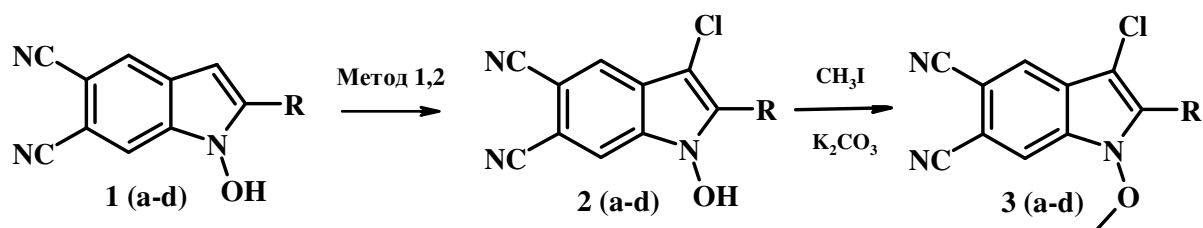
## СИНТЕЗ 3-ХЛОРЗАМЕЩЕННЫХ ИНДОЛ-5,6-ДИКАРБОНИТРИЛОВ

С.С. Сергеев, М.В. Кабанова, Ж.В. Чиркова

Научный руководитель – Ж.В. Чиркова, канд. хим. наук, ст. преподаватель  
*Ярославский государственный технический университет*

Синтез замещенных 3-хлориндолов весьма актуален, поскольку индольный цикл входит в состав многих биологически активных соединений, таких как нейромедиатор серотонин и природного пептидного антибиотика нокафицина. Как правило, подобные соединения получают взаимодействием индолов различного строения с *N*-хлорсукцинимидом в присутствии имидазолилсодержащих ионных жидкостей. Данных о получении 3-хлорзамещенных 1-гидроксииндол-5,6-дикарбонитрилов в литературе нет.

На основе ранее синтезированных индол-5,6-дикарбонитрилов **1 (a-d)** были разработаны два метода синтеза новых 3-хлорзамещенных индол-5,6-дикарбонитрилов **2 (a-d)**.



1, 2, 3: а – R=4-MeC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>; б – R=4-MeOC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>;  
 в – R=2-thienyl; д – R= C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>

Первый метод синтеза заключается во взаимодействии индолов строения **1 (a-d)** с двукратным избытком хлорокиси фосфора (POCl<sub>3</sub>) в условиях реакции Вильсмайера-Хаака. Второй метод синтеза включает реакцию индолов **1 (a-d)** с PCl<sub>5</sub>. Установлено, что при использовании в качестве хлорирующего агента PCl<sub>5</sub> реакция протекает в более мягких условиях (уменьшение температуры реакции в два раза), что в свою очередь приводит к увеличению выхода целевых 3-хлорзамещенных индол-5,6-дикарбонитрилов **2 (a-d)**. Образование именно 1-гидроксииндолов **2 (a-d)** было доказано алкилированием ОН-группы йодистым метилом с получением соединений **3 (a-d)**.

Строение всех полученных соединений было установлено на основании совокупности данных ИК-, <sup>1</sup>H ЯМР-спектроскопии и масс-спектрометрии и подтверждено результатами двумерной <sup>1</sup>H-<sup>1</sup>H и <sup>1</sup>H-<sup>13</sup>C ЯМР-спектроскопии.

## СИНТЕЗ И ОКИСЛИТЕЛЬНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ИЗОПРОПИЛКСИЛОЛОВ

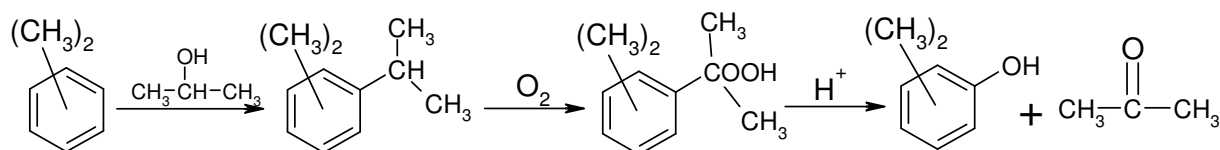
**Е.В. Самцова, В.В. Маликов, Е.Н. Ларионова, А.С. Фролов**

Научный руководитель – А.С. Фролов, аспирант

*Ярославский государственный технический университет*

Диметильные производные фенола (ксиленолы) обладают высокими потребительскими свойствами и широко применяются для получения пластификаторов, лакокрасочных материалов и огнеустойчивых масел, антимикробных средств. Известные методы синтеза ксиленолов характеризуются многостадийностью, низкими выходами целевых продуктов, высокой себестоимостью их получения, большим расходом вспомогательных материалов. Все это в значительной мере ограничивает их промышленную реализацию.

Наиболее перспективным и экономически предпочтительным является «гидропероксидный» метод получения ксиленолов на основе ксилолов по схеме:



Изопропилксилолы (ИПК) были получены алкилированием ксилола изопропиловым спиртом в присутствии серной кислоты при температуре 20 °С, в течение 3 часов; выход на загруженный спирт составил 75-80 %. Установлено, что изомерный состав получаемых ИПК зависит от природы исходного ксилола, его можно регулировать с применением процесса переалкилирования.

Жидкофазное окисление ИПК до соответствующих гидропероксидов проводили при температуре 110-140 °С в присутствии азотсодержащих органических катализаторов. Изучено влияние концентрации катализатора, температуры реакции и продолжительности на конверсию углеводорода и селективность образования его гидропероксида. В зависимости от структуры ИПК они составили 10-30 и 90-95 % соответственно.

Полученные гидропероксиды ИПК были подвергнуты кислотному разложению в присутствии концентрированной серной кислоты с образованием 2,5-ксиленола, 3,4-ксиленола, 3,5-ксиленола и ацетона. Выход продуктов составил 75-85 %.

## **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ КСИЛЕНОЛОВ**

**Н.И. Букина, М.Е. Чалова, А.С. Фролов**

Научный руководитель – А.С. Фролов, аспирант

*Ярославский государственный технический университет*

Ксиленолы – диметилфенолы, существуют в виде шести изомеров: 2,3-диметилфенол, 2,4-диметилфенол, 2,5-диметилфенол, 2,6-диметилфенол, 3,4-диметилфенол и 3,5-диметилфенол.

Проведенные исследования и анализ литературных данных показал, что ксиленолы находят широкое применение в виде технических смесей, основными потребителями которых являются производства синтетических смол и крезильных кислот. Ксиленолы используют в качестве антисептиков, в синтезе витамина Е. Из 2,4-ксиленола получают высокоэффективный антиоксидант топанол-А, на основе 3,4- и 3,5-ксиленолов – триксилилфосфат, обладающий большей вязкостью, меньшей токсичностью и лучшим пластифицирующим действием. В последнее время всё больше внимания уделяется новому виду синтетических смол – полифениленоксиду, получаемому конденсацией 2,6-ксиленола.

Установлено, что главным источником промышленного получения ксиленолов является переработка твердых топлив и ректификация коксохимических фенолов в виде широкой фракции, содержащей все изомеры ксиленолов и некоторое количество крезолов. Недостатками данных методов является невозможность выделения отдельных видов изомеров ксиленолов, а также недостаточная чистота получаемых продуктов. К синтетическим методам получения ксиленолов относятся: алкилирование фенолов, сульфирование ароматических соединений, получение ксиленолов на основе алифатических кислородосодержащих соединений. 3,5-Ксиленол получают из ацетона и изомасляного альдегида, а при взаимодействии циклогексанона с формальдегидом с хорошим выходом получают 2,6-ксиленол. Все вышеперечисленные методы не нашли своего широкого промышленного применения, так как в них есть ряд существенных недостатков, в основном это высокое давление и температура, а также использование большого количества вспомогательных материалов и дорогостоящего сырья. В настоящее время наиболее привлекательным является синтез ксиленолов на основе жидкофазного окисления изопропилксилолов. К существенным преимуществам данного метода относится высокий выход продуктов, возможность получения индивидуальных изомеров ксиленолов и доступность сырья.

## **ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ НА ОСНОВЕ ПЕРЕРАБОТКИ БИОМАССЫ**

**Е.Н. Тишкина, Е.И. Филимонова, В.В. Соловьев**

Научный руководитель – В.В. Соловьев, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

В последние годы, мир вступает в эру биотехнологий, использующей возобновляемое углеродное сырье для производства энергии и материалов.

Биотопливо - это твердое, жидкое или газообразное топливо, получаемое из биомассы термохимическим или биологическим способом (согласно ГОСТ Р 52808-2007 "Нетрадиционные технологии. Энергетика биотходов. Термины и определения"). Различают три вида биотоплив, классифицируемых по агрегатному состоянию: жидкое, твёрдое и газообразное биотопливо. Все биотоплива подразделяют на первичные и вторичные. Первичные биотоплива используются в необработанном виде, в первую очередь для отопления, приготовления пищи и электричества, в основном, это топливная древесина. Вторичные биотоплива, такие как биоэтанол и биодизель производится путем переработки биомассы и могут быть использованы на транспортных средствах, а также в различных промышленных процессах. Вторичные биотоплива можно разделить на три поколения: первое, второе и третье поколение биотоплива. Биотопливо первого поколения производится из любого сельскохозяйственного сырья сахара, крахмала, растительного масла и животного жира посредством применения надлежащих технологий (близкие к естественным биологические и термохимические процессы, такие как брожение). К этому виду топлива относятся биоэтанол и биодизель. Биотопливо второго поколения - топливо, полученное разными методами пиролиза биомассы, или другие топлива, отличные от биометанола, биоэтанола, биодизеля. Производятся из не пищевого сырья (отработанные жиры и растительные масла, биомасса деревьев и растений). Быстрый пиролиз позволяет превратить биомассу в жидкость, которую легче и дешевле транспортировать, хранить и использовать. Из жидкости можно сделать автомобильное топливо или топливо для электростанций. Условная эффективность производства энергии из биомассы биотоплива первого и второго поколения составляет примерно 50 %. Биотопливо третьего поколения - топливо, полученное из водорослей. Они значительно превосходят растения, средой обитания для которых является суша, отличаются быстрым размножением, дающим высокий прирост биомассы, в штамме водорослей содержание жиров составляет от 75 до 85 % сухого веса. С одной технологической площадки для культивирования биотопливных водорослей можно собирать до 40 урожаев в год, а около 80 % органического вещества, создающегося ежедневно на Земле, приходится именно на водоросли.

## **СИНТЕЗ АЦЕТИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ТЕРФЕНИЛА – ПОЛУПРОДУКТОВ В ОРГАНИЧЕСКОМ СИНТЕЗЕ**

**Ю.А. Бернадская**

Научный руководитель – С.Г. Кошель, д-р хим. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Ацетильные производные ароматических углеводородов находят широкое применение в синтезе полимеров, красителей, лекарственных веществ, используются в качестве промежуточных продуктов в синтезе соответствующих карбоновых кислот и хлорангидридов.

Ацилирование терфенила проводили хлористым ацетилом в присутствии катализатора хлористого алюминия в среде хлористого метилена. Реакцию проводили при мольном соотношении реагентов углеводород : хлористый алюминий : хлористый ацетил равном 1 : 1.2 : 0.3 соответственно. Время реакции 3 часа. Температура поддерживалась в пределах 0...20 °С. Во время прибавления углеводорода к реакционной смеси во избежание образования продуктов осмоления температура не превышала 5 °С. Разложение катализаторного комплекса проводили минеральной кислотой при температуре 10-30 °С с последующим выделением целевого продукта из органического слоя. Было показано, что при увеличении соотношения хлористый алюминий : углеводород до значения 1.6...1.8 выход ацетильного производного, который представлял собой продукт монозамещения, увеличивался с 63 до 78 %. Диацетильные производные терфенила были получены ацилированием терфенила уксусным ангидридом в среде полярного растворителя и катализатора хлористого алюминия. Процесс вели в течение 8 часов при температуре 15...25 °С при мольном соотношении реагентов углеводород : уксусный ангидрид : хлористый алюминий 1 : 3 : 6. Мольное соотношение терфенил : хлористый метилен было равно 1 : 10. Выход целевого продукта составил 43...51 %. Анализ структуры ацетильных производных проведен на основании данных ИК-спектроскопии. Не-плоским деформационным колебаниям СН-связей, в случае двух смежных атомов, свидетельствующем о *пара*-замещении ацетильной группы в ароматическом кольце соответствует полоса поглощения 800 см<sup>-1</sup>. Колебания ароматического кольца представлены полосами в области 1595 и 1500 см<sup>-1</sup>. Деформационные колебания –СО–С– и валентные колебания –С–СО– в алифатических и ароматических кетонах подтверждены наличием полос в области 1100...1200 и 1300...1200 см<sup>-1</sup>. Определены температуры плавления и элементный состав полученных продуктов.



## **РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ**

**М.А. Смирнова, Л.М. Соболева, В.В. Соловьев**

Научный руководитель – В.В. Соловьев, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

В результате расширения имеющихся мощностей и строительства новых промышленных установок по производству целлюлозы, а также интенсификации процессов переработки древесины для производства современных видов бумаги на целлюлозно-бумажных комбинатах (ЦБК) в России ежегодно образуется около миллиона тонн шлам-лигнинов. Постоянно накапливаясь, они представляют собой принципиальный источник экологических проблем. Несмотря на достижение технологического прогресса существующие технологии утилизации или переработки таких отходов экономически невыгодны, так как они сильно загрязняют окружающую среду и в большинстве случаев опасны.

В ходе настоящих исследований были предложены основы экологически чистого способа утилизации шлам – лигнинов, а именно - их переработка в компоненты биотоплива и сырья для химической промышленности. Реализация этого проекта, которая уже началась на Котласском целлюлозно-бумажном комбинате в городе Коряжма, дает возможность решить глобальную проблему, связанную с постоянным накоплением отходов лигношлама, а также получить на его основе ценные продукты. Так, выход сырого таллового масла – будущего компонента биотоплива, по предлагаемой технологии составляет около 65-70 % от массы исходного сырья. По мнению авторов настоящей работы, данная технология, будет конкурентно способной на рынке, так как она имеет явное преимущество по сравнению с похожими процессами или аналогичным оборудованием других разработчиков, которые перерабатывают маслосодержащие отходы пищевых производств (отработанные масла после процессов жарки), а также отходы масложировых комбинатов (например - соапстоки растительных масел).

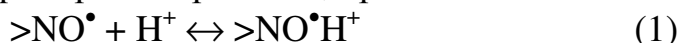
Во-первых, реализуемая технология предполагает извлечение и первичную переработку не пищевого, а маслосодержащего сырья, полученного на основе древесины. Во-вторых, доступные растворители и низкие температуры проведения процесса извлечения (чуть выше температуры замерзания воды (0-5 °C), а также не прямой нагрев сырья, помогает избежать трудоёмкой, медленной и опасной ручной работы по извлечению лигносодержащих отходов, и прямо на месте получать сырое талловое масло.

# ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОПОРЦИОНИРОВАНИЯ ЦИКЛИЧЕСКИХ ОКСАММОНИЕВЫХ КАТИОНОВ И ГИДРОКСИЛАМИНОВ

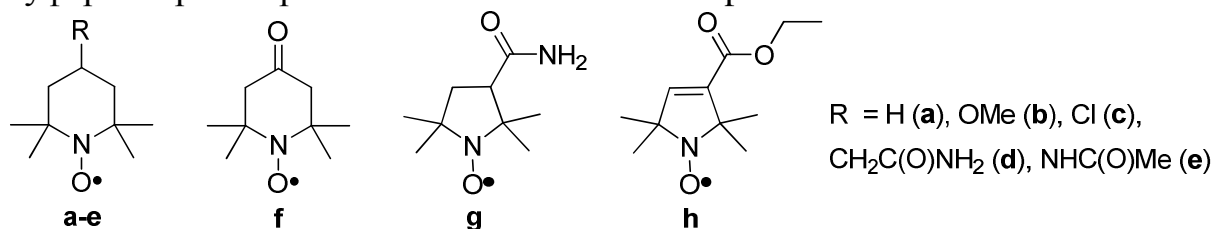
Л.И. Бородин

Научный руководитель – Е.М. Плисс, д-р хим. наук, профессор  
Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Важной реакцией в химии нитроксильных радикалов ( $>\text{NO}^\bullet$ ) является их обратимое диспропорционирование, протекающее по механизму:



Направление и скорость данного процесса существенным образом зависят от кислотности среды: в растворах сильных кислот протекает прямая реакция, при более низкой кислотности среды происходит сопропорционирование оксаммониевых катионов ( $>\text{N}^+=\text{O}$ ) и гидроксиламинов ( $>\text{NOH}$ ). В настоящей работе была исследована кинетика сопропорционирования  $>\text{N}^+=\text{O}$  и  $>\text{NOH}$ , соответствующим  $>\text{NO}^\bullet$  **a** – **h**. Кинетику изучали методом спектроскопии ЭПР по накоплению  $>\text{NO}^\bullet$  при избытке  $>\text{NOH}$  в буферных растворах с известным значением pH.



$$-\frac{d[>\text{N}^+=\text{O}]}{dt} = \frac{k_{-2}K_{>\text{N}^+\text{HOH}}[>\text{N}^+=\text{O}][>\text{N}^+\text{HOH}]}{[\text{H}^+]} \quad (\text{I})$$

Установлено, что исследуемая реакция имеет первый порядок по  $[>\text{N}^+=\text{O}]$  и  $[>\text{NOH}]$ , что подтверждает представленный выше механизм. Скорость процесса определяется уравнением (I). Из данного уравнения были определены значения  $k_{-2}$ . Доказано, что эти значения не зависят от pH среды и природы буферного раствора: так, для пары  $>\text{N}^+=\text{O}$  /  $>\text{NOH}$  **f** значения  $k_{-2}$  оказались одинаковыми в среде соляной и хлорной кислот, а также в солянокислом (HCl – KCl) и глициновом буферных растворах.

$>\text{N}^+=\text{O}$ / $>\text{NOH}$	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>	<b>e</b>	<b>f</b>	<b>g</b>	<b>h</b>
$k_{-2}$ , л/(моль·с)	51	160	240	130	220	390	3500	20000
$\text{p}K_{>\text{N}^+\text{HOH}}$	6,90	5,82	5,48	6,31	5,87	4,18	5,27	4,50

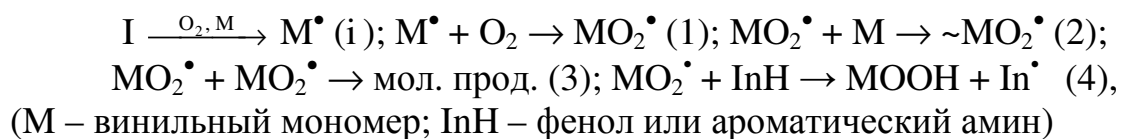
Обращают на себя внимание высокие значения  $k_{-2}$  для соединений **g** и **h**, что объясняется более высокой разностью в потенциалах одноэлектронного восстановления для данных пар  $>\text{N}^+=\text{O}$  /  $>\text{NO}^\bullet$  и  $>\text{NO}^\bullet$  /  $>\text{NOH}$ .

## ПОЛЯРНЫЕ ЭФФЕКТЫ В РЕАКЦИЯХ ЖИДКОФАЗНОГО ОКИСЛЕНИЯ МЕТАКРИЛОВЫХ ЭФИРОВ

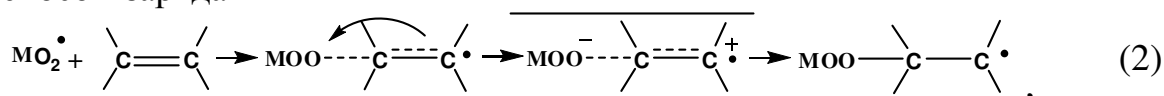
**А.А. Дарьина, С.Н. Леднев**

Научный руководитель – Е.М. Плисс, д-р хим. наук, профессор  
*Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова*

Механизм окисления винильных соединений включает следующие основные элементарные реакции (при  $[MO_2^\bullet] \gg [M^\bullet]$ ):



В среде полярных растворителей на такой механизм существенное влияние оказывают как электростатические эффекты (неспецифическая сольватация, мультидипольный эффект), так и специфическая сольватация (образование Н-связей). Эти эффекты проявляются как в реакциях присоединения пероксирадикалов к двойным связям полярных винильных мономеров, поскольку реакция (2) протекает через образование комплекса с переносом заряда



так и при ингибированном окислении мономеров, т.к. реакция (4) осложнена комплексообразованием молекул ингибитора с полярными молекулами растворителя.

В настоящей работе на примере неингибированного и ингибированного окисления винильных соединений ряда метакриловых эфиров в среде различных растворителей показано влияние суперпозиции эффектов неспецифической и специфической сольватации на абсолютные значения  $k_2$  и  $k_4$ .

Полученные экспериментальные данные хорошо спрямляются в координатах уравнения Кирквуда-Онзагера, что свидетельствует о существенной роли неспецифической сольватации при протекании реакции (2). Эффект специфической сольватации для реакции (4) проявляется в зависимости величины  $k_4$  от концентрации полярного растворителя [S]:

$$k_4^{-1} = (k_4^0)^{-1} + K[S](k_4^0)^{-1}.$$

В докладе обсуждается влияние этих эффектов на динамику элементарного акта и реакционную способность соответствующих пероксирадикалов в реакциях их присоединения к двойной связи винильных соединений и отрыва ими атома водорода от молекул ингибитора.

# ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ИНИЦИИРОВАНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ СТАБИЛЬНЫХ НИТРОКСИЛЬНЫХ РАДИКАЛОВ ПРИ ОКИСЛЕНИИ МЕТИЛЛИНОЛЕАТА В МИЦЕЛЛАХ

Т.С. Кузнецова

Научный руководитель – Е.М. Плисс, д-р хим. наук, профессор  
*Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова*

В работе показаны результаты экспериментальных исследований по радикально-цепному окислению метиллинолеата (RH) в присутствии стабильных нитроксильных радикалов и гидроксиламинов: 2,2,5,5-тетраметил-2,5-дигидро-1Н-пиррол-3-карбоксамид-1-оксил, 3-карбокси-2,2,5,5-тетраметил-3-пирролин-1-оксил, 1-гидрокси-2,2,5,5-тетраметил-2,5-дигидро-1Н-пиррол-3-карбоксамид, 4-гидрокси-2,2,6,6-тетраметилпиперидин. Кинетика цепного окисления RH в водных мицеллах изучалась при следующих условиях: температура  $37,0 \pm 0,1$  °С, pH водного фосфатного буфера  $7,40 \pm 0,02$ . В качестве мицеллообразователя использовали Triton X-100, иницирующим агентом был выбран 2,2'-азобис(2-метилпропионамид) дигидрохлорида. Работы осуществлялись на биологическом кислородном мониторе, модель YSI 5300A, Моделирование осуществляли с использованием программы Кинетика-2012. Учитывая механизм неингибированного окисления участие  $>\text{NO}^\bullet$  и NOH в процессе окислительных превращений метиллинолеата можно представить следующей предполагаемой схемой:

Инициатор  $\rightarrow \text{R}^\bullet$  (1);  $\text{R}^\bullet + \text{O}_2 \rightarrow \text{RO}_2^\bullet$  (1);  $\text{RO}_2^\bullet + \text{RH} \rightarrow \text{R}^\bullet + \text{ROOH}$  (2);  $2\text{RO}_2^\bullet \rightarrow \text{продукты}$  (3);  $\text{RO}_2^\bullet \rightarrow \text{продукты}$  (4);  $>\text{NO}^\bullet + \text{RO}_2^\bullet \rightarrow \text{NOH} + \text{продукты}$  (5);  $\text{NOH} + \text{RO}_2^\bullet \rightarrow \text{ROOH} + >\text{NO}^\bullet$  (6);  $\text{R}^\bullet + >\text{NO}^\bullet \rightarrow \text{продукты}$  (7)

Приблизённо, данная схема подтверждается следующими экспериментальными данными. При вводе ингибиторов наблюдается индукционный период, по истечении которого скорость окисления начинает медленно возрастать, не достигая при этом скорости неингибированного окисления. Это позволяет предположить, что в системе идет регенерация ингибитора [1].

Однако характер полученных кривых позволяет утверждать, что соотношение скорости регенерации к скорости необратимого расходования ингибитора изменяется в зависимости от скорости инициирования. С помощью компьютерного моделирования показано, что с увеличением скорости инициирования доля необратимого расходования ингибитора уменьшается.

1. Roginsky. V. // Archives of Biochemistry and Biophysics. – 2003. – V.414. – P. 261.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНИЦИИРОВАНИЯ  
2,2'-АЗОБИС (2-МЕТИЛПРОПИОНАМИД) ДИГИДРОХЛОРИДА  
В ПРОЦЕССЕ ОКИСЛЕНИЯ МЕТИЛЛИНОЛЕАТА В МИЦЕЛЛАХ**

**С.Ю. Петрова**

Научный руководитель – Е.М. Плисс, д-р хим. наук, профессор  
*Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова*

В работе показаны результаты экспериментальных исследований по радикально-цепному окислению метиллинолеата (RH) как при изменении скоростей инициирования, так и при варьировании концентраций мицеллообразователя (Triton X-100). Исследования проводились на биологическом кислородном мониторе (5300A, YSI, США) в водном фосфатном буфере с pH = 7,4 при 37°C; инициатор 2,2'-азобис(2-метилпропионамид) дигидрохлорид, для определения константы инициирования использовался ингибитор Trolox: 6-гидрокси-2-карбокси-2,3,5,7-тетраметил-бензохроман (PhOH). Моделирование осуществляли с использованием программы Кинетика-2012. Механизм неингибированного окисления RH можно представить следующей предполагаемой схемой [1]: Инициатор  $\rightarrow R^{\bullet}(i)$ ;  $R^{\bullet} + O_2 \rightarrow RO_2^{\bullet}(1)$ ;  $RO_2^{\bullet} + RH \rightarrow R^{\bullet} + ROOH(2)$ ;  $RO_2^{\bullet} \rightarrow \text{продукты}(3)$ ;  $2RO_2^{\bullet} \rightarrow \text{продукты}(4)$ ;  $RO_2^{\bullet} + PhOH \rightarrow PhO^{\bullet} + ROOH(5)$ ;  $RO_2^{\bullet} + PhO^{\bullet} \rightarrow \text{продукты}(6)$ .

Показано, что при увеличении концентрации мицеллообразователя снижается эффективность инициирования. Таким образом, в исследуемой системе мы имеем дело с эффективной константой скорости инициирования. Объяснением полученных зависимостей может служить образование комплексов между радикалом инициатора и мицеллообразователем.

1. Рогинский, В.А. // Кинетика и катализ. – 1996. – Т. 37, № 4. - С. 521.

# ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ЗАМЕЩЕННЫХ ПИРИДО[1,2-А]БЕНЗИМИДАЗОЛОВ

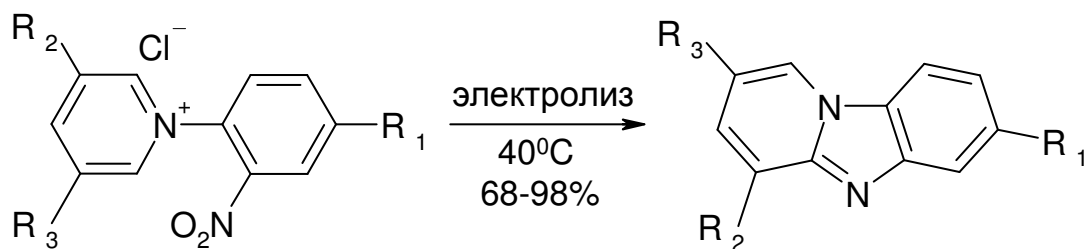
А.А. Соколов, С.А. Калина, Р.С. Бегунов

Научный руководитель – Р.С. Бегунов, канд. хим. наук, доцент  
Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Восстановительная гетероциклизация является одним из эффективных способов формирования конденсированных полициклических систем, которые интересны наличием высокой биологической активности, а также фотофизическими (флуоресцентными) свойствами. К таким структурам относятся три- и тетрациклические азагетероциклы, например, пиридо[1,2-а]бензимидазолы.

Для их синтеза был разработан подход, основанный на восстановлении нитрогруппы хлоридов N-(2-нитрофенил)пиридиния с последующим образованием C-N связи и замыканием цикла. Ранее в качестве донора электронов для синтеза конденсированных полиазагетероциклов был использован  $\text{SnCl}_2$ . Выход пиридо[1,2-а]бензимидазолов составил 86-98 %. Недостатком данного способа является необходимость утилизации восстановителя и сложность процедуры выделения продуктов.

Решение этих проблем заключается в проведении восстановления солей N-(2-нитрофенил)пиридиния в целевые продукты при помощи электрического тока. В качестве катода использовали свинец, анод - платина.



**a** **1a-k** **2a-k**  $\text{R}_1=\text{CF}_3$ ,  
 $\text{R}_2=\text{R}_3=\text{H}$ , **b**  $\text{R}_1=\text{CN}$ ,  $\text{R}_2=\text{R}_3=\text{H}$ , **c**  $\text{R}_1=\text{COOCH}_3$ ,  $\text{R}_2=\text{R}_3=\text{H}$ , **d**  $\text{R}_1=\text{COOC}_2\text{H}_5$ ,  
 $\text{R}_2=\text{R}_3=\text{H}$ , **e**  $\text{R}_1=\text{COOPh}$ ,  $\text{R}_2=\text{R}_3=\text{H}$ , **i**  $\text{R}_1=\text{CF}_3$ ,  $\text{R}_2=\text{R}_3=\text{CH}_3$ , **k**  $\text{R}_1=\text{CN}$ ,  
 $\text{R}_2=\text{R}_3=\text{CH}_3$

Электролиз субстратов **1a-k** при температуре 40-45 °С в растворе изопропилового спирта и 3 % соляной кислоты позволил получить целевые пиридо[1,2-а]бензимидазолы с высокими выходами и степенью чистоты.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (проект № 178 в рамках базовой части государственного задания на НИР ЯрГУ).*

## СИНТЕЗ НОВЫХ ФТОРСОДЕРЖАЩИХ АРОМАТИЧЕСКИХ ПОЛИИМИДОВ

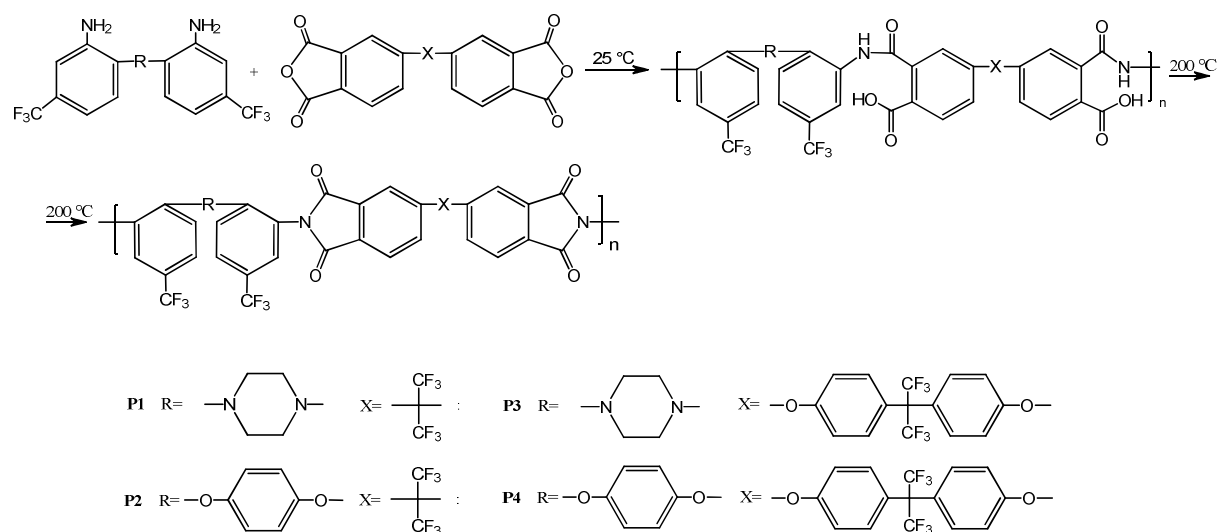
**Е.И. Червоногородская, А.Н. Валяева, Р.С. Бегунов**

Научный руководитель – Р.С. Бегунов, канд. хим. наук, доцент  
Ярославский государственный университет имени П.Г. Демидова

В результате анализа литературных данных, выбран наиболее перспективный класс полимеров с низкой диэлектрической проницаемостью в качестве материалов для микроэлектроники - ароматические фторсодержащие полиимиды.

Предложена общая концепция получения не описанных в литературе фторсодержащих мономеров для полимеров. Проведен синтез новых полифункциональных мономеров для ароматических полиимидов.

Исследованы закономерности реакций, лежащих в основе получения полиядерных диаминоаренов, содержащих объемные фторированные заместители. Осуществлен синтез не описанных в литературе ароматических полиимидов по схеме:



Полученные данные о физико-химических характеристиках и диэлектрической проницаемости фторированных полиимидов, имеющих  $\epsilon = 2,79-2,88$ , свидетельствуют о перспективности их использования в качестве межслойных диэлектриков для мультиинтегральных схем.

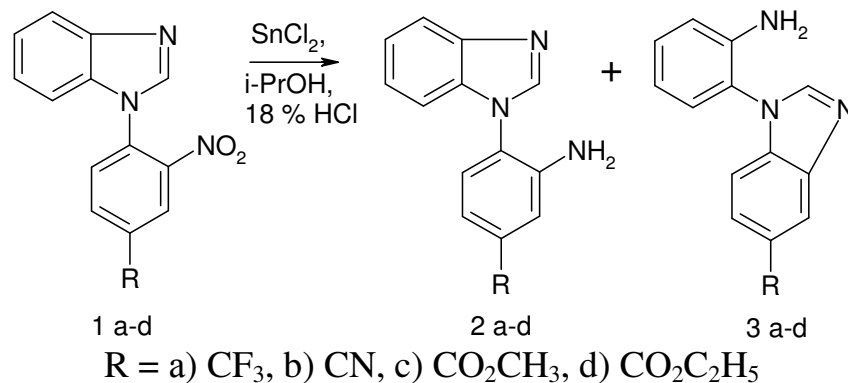
*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (проект № 178 в рамках базовой части государственного задания на НИР ЯрГУ).*

# НОВЫЙ СПОСОБ СИНТЕЗА N-ФЕНИЛЗАМЕЩЕННЫХ-5-R-БЕНЗИМИДАЗОЛОВ – ПЕРСПЕКТИВНЫХ АНТИМИКРОБНЫХ ПРЕПАРАТОВ

**Т.В. Шебунина, В.А. Васькина, Р.С. Бегунов**

Научный руководитель – Р.С. Бегунов, канд. хим. наук, доцент  
Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Соединения, содержащие бензимидазольный фрагмент, вызывают повышенный интерес ввиду проявления ими различной биологической активности. В последнее время в литературе отмечены исследования по использованию N-фенилзамещенных бензимидазов (N-ФБИ) в качестве физиологически активных препаратов. Согласно проведенному компьютерному биоскринингу наличие заместителей в бензольном кольце бензимидазольного фрагмента должно увеличивать биологическую активность подобных соединений. Однако оказалось, что получить такие N-ФБИ, традиционным способом невозможно. Поэтому был разработан новый метод получения N-фенилзамещенных-5-R-бензимидазолов, в основе которого лежит процесс восстановительной изомеризационной рециклизации. Ранее было показано, что в ходе восстановления NO<sub>2</sub>-замещенных N-ФБИ (1) происходит образование двух изомерных бензимидазолов: **2** и **3**.



Структура полученных соединений доказана с помощью физико-химических методов анализа:  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$  ЯМР - спектроскопии, двумерной спектроскопии:  $\{^1\text{H}-^1\text{H}\}$ NOESY и  $\{^1\text{H}-^{13}\text{C}\}$ HNBC. В ходе последующих работ были установлены факторы, влияющие на ход восстановительной изомеризации, позволившие получить БИ **2** и **3** в индивидуальном виде.

Проведена оценка токсичности синтезированных соединений и исследована их биологическая активность. Установлено, что N-ФБИ могут быть использованы в качестве перспективных полупродуктов для получения эффективных антибактериальных препаратов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (проект № 178 в рамках базовой части государственного задания на НИР ЯрГУ).



# СИНТЕЗ 4-МЕТИЛ-*N'*-(2-(2-ОКСО-1,2,3,4-ТЕТРАГИДРОХИНОКСАЛИН-3-ИЛ)АЦЕТИЛ)БЕНЗГИДРАЗИДА

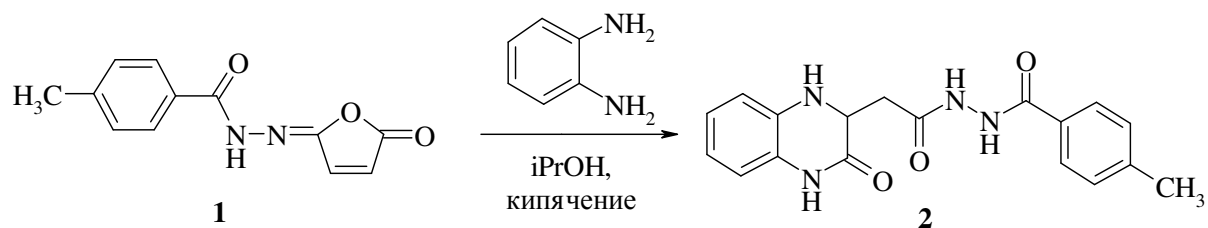
Д.С. Монастырёва, С.С. Рожков

Научный руководитель – А.В. Колобов, д-р хим. наук  
Ярославский государственный технический университет

Соединения, содержащие в своей структуре хиноксалиновый фрагмент, находят широкое применение в качестве лекарственных препаратов, фунгицидов, инсектицидов и многих других биологически активных веществ. Они проявляют антибактериальную и антидепрессантную активность, имеют противовоспалительное и болеутоляющее действие. Помимо этого, производные хиноксалина находят применение в качестве красителей, электролюминесцентных материалов и органических полупроводников.

Известно, что *изо*-малеинимиды являются слабыми ацилирующими агентами и вступают во взаимодействие с аминами с образованием соответствующих диамидов. С другой стороны *изо*-малеинимиды имеют в своём составе активированную двойную связь, по которой также могут присоединяться амины. Использование такого динуклеофила как *о*-фенилендиамин в реакции с *изо*-малеинимидами может привести к образованию гетероциклической системы с двумя атомами азота.

В связи с этим нами была проведена реакция между *о*-фенилендиамином и *N'*-*n*-метилбензоил-5-гидразонофуран-2(5*H*)-оном **1**, представляющим собой замещённый *изо*-малеинимид. Реакцию проводили в *изо*-пропиловом спирте при кипячении. В результате превращения был получен с выходом 57 % 4-метил-*N'*-(2-(2-оксо-1,2,3,4-тетрагидрохиноксалин-3-ил)ацетил)бензгидразид **2**



Строение полученного соединения было подтверждено методами ИК и ЯМР  $^1\text{H}$  спектроскопии.

# АЛКИЛИРОВАНИЕ 6-ЗАМЕЩЕННЫХ ПИРИДАЗИН-3(2H)-ОНОВ ДИЭФИРАМИ МАЛЕИНОВОЙ И ИТАКОНОВОЙ КИСЛОТ

П.В. Дыленок, Т.А. Бобова, А.В. Колобов

Научный руководитель – А.В. Колобов, д-р хим. наук, профессор  
Ярославский государственный технический университет

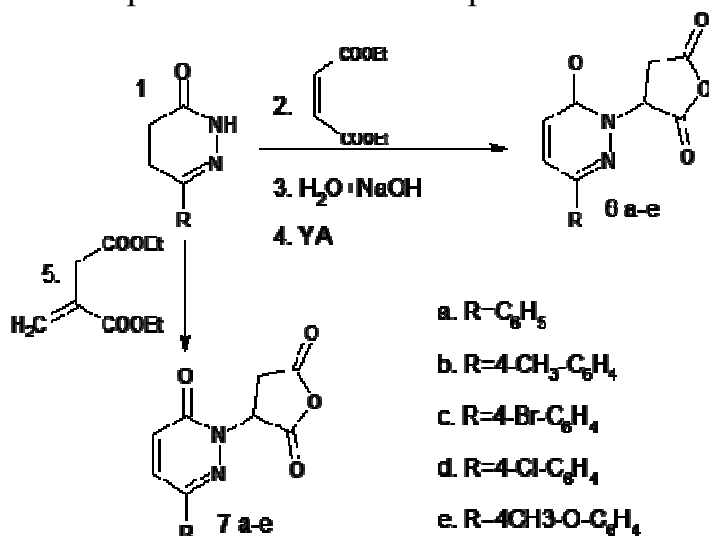
Известно, что производные пиридазин-3(2H)-онов рассматриваются в роли потенциальных лекарственных средств, проявляющих широкий спектр биологической активности (противораковые, противовирусные, противовоспалительные, противогрибковые препараты). В этой связи актуальна разработка путей синтеза новых соединений, содержащих в своей структуре фрагмент пиридазина. Одним из перспективных классов таких соединений являются 1,4-дикарбонильные замещённые пиридазина.

Нами исследована аза-реакция Михаэля с использованием в качестве доноров Михаэля диэфиров малеиновой и итаконовой кислот, а в качестве акцепторов - 6-замещённых пиридазин-3(2H)-онов.

В литературных источниках имеются указания на проведение алкилирования имидазолов и пиразолов диэфирами непредельных дикарбоновых кислот путем длительного нагревания в среде в среде подходящего растворителя. Однако использование этой методики не привело к получению эфиров (только в случае итаконовой кислоты был получен искомый продукт с низким выходом). Целевые соединения удалось получить только с использованием в качестве депротонирующего агента. Наилучший выход был получен при использовании карбоната калия.

Дальнейшая функционализация полученных соединений будет осуществляться через получение соответствующих ангидридов 6 а-е, 7 а-е.

Чистота и строение синтезированных соединений были доказаны методами  $^1\text{H}$ -ЯМР-спектроскопии и ИК-спектроскопии.



# СИНТЕЗ (1R\*, 2S\*, 4S\*)-4-МЕТИЛ-2-[5-МЕТИЛ-5-(4-НИТРОФЕНИЛ)-1,3-ДИОКСООКТАГИДРОИЗОИНДОЛ-2-ИЛ]-БУТАНОВОЙ КИСЛОТЫ

Н.Ю. Зудина, А.А. Баканова

Научный руководитель – Е.Р. Кофанов, д-р хим. наук, профессор  
Ярославский государственный технический университет

Целью данной работы является получение оптически активных нитрокарбоновых кислот, содержащих циклогексановый фрагмент, которые могут использоваться как исходное соединение для получения мономеров, путем каталитического восстановления водородом нитрогруппы. Данные полиимиды обладают высокой термостойкостью, хорошими электрическими и механическими свойствами, что обеспечило им широкое применение в микроэлектронике, космической технике.

В качестве исходного соединения была использована 4-метилциклогексендикарбоновая кислота (1). Первой стадией является алкилирование, которое проводили в среде реагента – бензола, взятого в 5-кратном избытке. Реакцию проводят при температуре 50 °С. Ангидриды (3,6) получали нагреванием дикарбоновых кислот в избытке ацетила хлористого в течение 4 часов. Нитрование проводили 100% азотной кислотой в растворе хлороформа. После нитрования выделяли 4'-нитро-4-метилфенилциклогександикарбоновую кислоту (5). Имид (7) получали из ангидрида (6) и *L*-валина в ледяной уксусной кислоте.

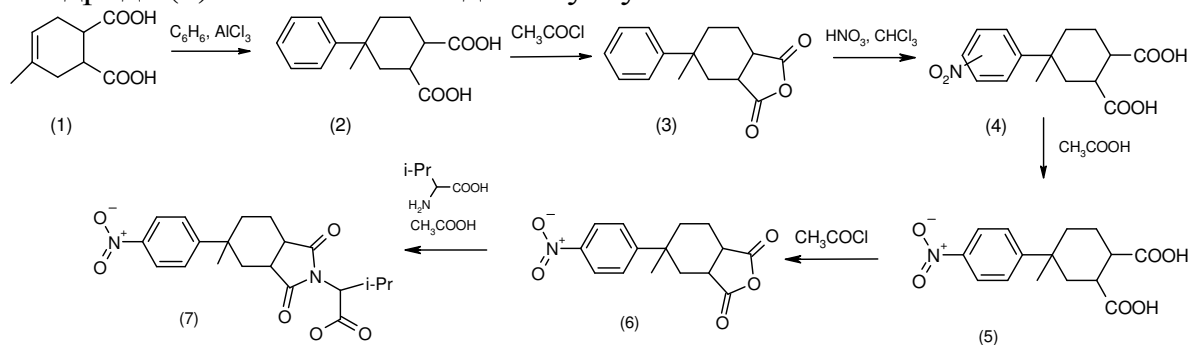


Схема 1

Наличие метильного заместителя в полученном соединении оказывает огромное влияние на стереоселективность, что приводит к образованию смеси *цис*- и *транс*-изомеров (7', 7''), с преобладанием *цис*-изомера, которые удается разделить колоночной хроматографией.

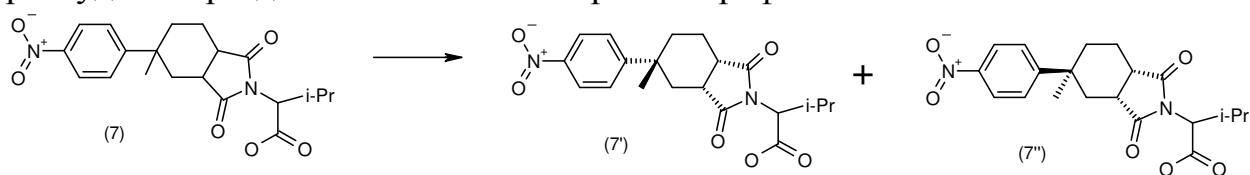


Схема 2

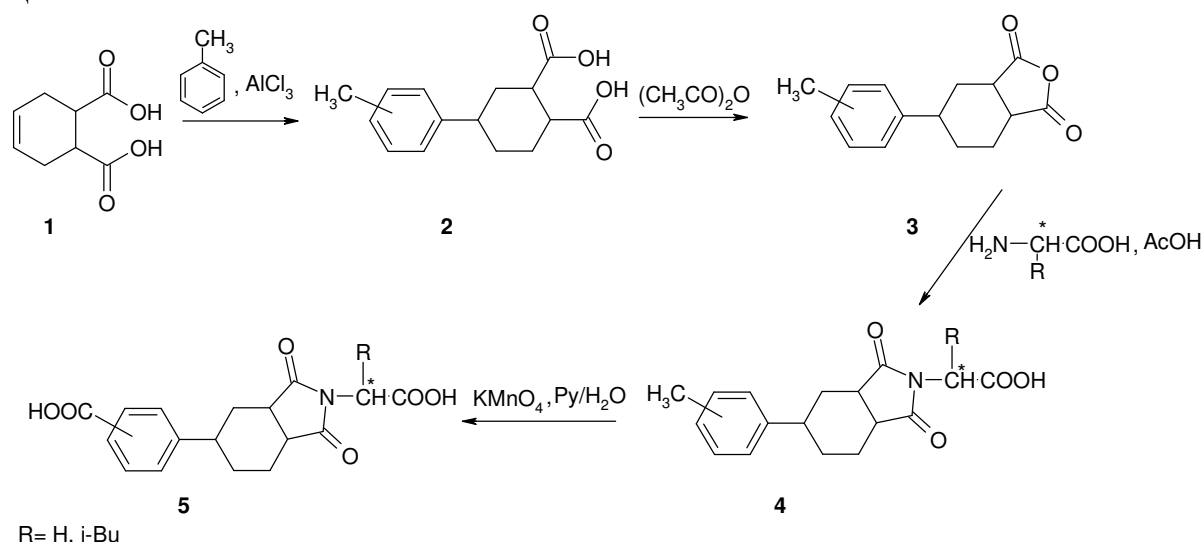
## СИНТЕЗ МОНОМЕРОВ ДЛЯ ПОЛИИМИДОВ, СОДЕРЖАЩИХ ИМИДНЫЙ ЦИКЛ

А.А. Фирстова, Е.Р. Кофанов

Научный руководитель – Е.Р. Кофанов, д-р хим. наук, профессор  
Ярославский государственный технический университет

В настоящее время в мировой науке огромное внимание уделяется созданию полимеров, сочетающих в себе традиционные свойства с рядом новых функциональных свойств. Среди гетероциклических полимеров внимание исследователей привлекают полиимиды. Эти полимеры обладают достаточно хорошими физико-химическими свойствами, термическими и диэлектрическими свойствами, находят широкое применение в различных областях науки и техники.

Синтез новых мономеров для полиимидов представлен на следующей схеме:



Алкилирование циклогесендикарбоновой кислотой **1** проводили при 45-50 °С в избытке толуола, в качестве катализатора использовали алюминий хлористый. Соотношение реагентов брали следующее ЦДК : толуол :  $\text{AlCl}_3 = 1:7,5:2,25$ .

Толилциклогексан-1,2-дикарбоновую кислоту **2** переводили в ангидрид **3** действием четырехкратного избытка уксусного ангидрида. Соединение **4** получали кипячением в уксусной кислоте эквимольных количеств ангидрида толилциклогексан-1,2-дикарбоновой кислоты **3** и природной аминокислоты (1-лейцин или глицин). Окисление метильной группы осуществляли перманганатом калия в системе вода-пиридин.

Чистота и строение полученных соединений подтверждены методами ИК- и ЯМР-спектроскопии.

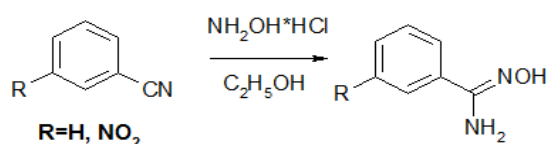
**СИНТЕЗ 5-АЛКЕНИЛ-1,2,4-ОКСАДИАЗОЛОВ****М.В. Карунная, В.В. Соснина, К.С. Фирсова**

Научный руководитель – Е.Р. Кофанов, д-р хим. наук, профессор

*Ярославский государственный технический университет**НОЦ «Органическая химия»*

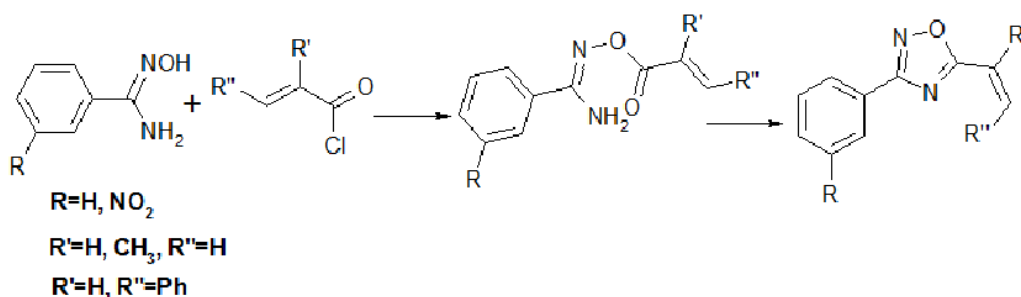
Замещенные 1,2,4-оксадиазолы успешно применяются в синтезе большого количества биологически активных веществ. Цель нашей работы – введение алкенильного фрагмента в молекулу оксадиазола с помощью хлорангидридов акриловой, метакриловой и коричной кислот. Введение фрагмента содержащего двойную связь позволяет проводить дальнейшую функционализацию данных соединений и расширить спектр их применения.

Синтез амидоксимов проводили согласно схеме 1:

**Схема 1**

Из полученных амидоксимов были синтезированы:

5-винил-3-(3-нитрофенил)-1,2,4-оксадиазол, 5-изопропенил-3-(3-нитрофенил)-1,2,4-оксадиазол, 5-винил-3-фенил-1,2,4-оксадиазол, 5-изопропенил-3-фенил-1,2,4-оксадиазол, 5-стирил-3-фенил-1,2,4-оксадиазол, 5-стирил-3-(3-нитрофенил)-1,2,4-оксадиазол:

**Схема 2**

Нами были использованы хлорангидриды акриловой, метакриловой и коричной кислот. В качестве основания применялись пиридин, триэтиламин, а также карбонат калия в таких растворителях как: пиридин, 1,4-диоксан и ацетон.

В ряде синтезов были выделены продукты промежуточной стадии – сложные эфиры амидоксимов.

Строение и чистота синтезированных соединений на всех стадиях были подтверждены методами жидкостной хроматографии, ИК- и ЯМР-спектроскопии, а также методом масс-спектрометрии.

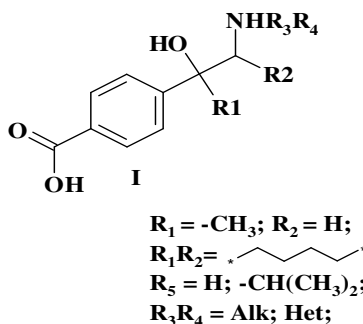
# МОДИФИКАЦИЯ $\alpha$ -ГИДРОКСИ- $\beta$ -ДИАЛКИЛАМИНОАЛКИЛ- И $\alpha$ -ГИДРОКСИ- $\beta$ -ДИАЛКИЛАМИНОЦИКЛОАЛКИЛБЕНЗОЙНЫХ КИСЛОТ В СИНТЕЗЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

А.А. Трещева, Г.С. Тюнькин, М.С. Сорокина

Научный руководитель – Н.В. Камкина, ассистент

Ярославский государственный технический университет

Соединения общей формулы **I** содержат фармакофорный фрагмент  $\alpha$ -арил- $\beta$ -аминоспиртов, которые представляют собой интересный класс органических соединений с точки зрения их биологической активности. По структуре они близки к природным катехоламинам, что обуславливает их потенциальный фармакологический профиль как средств, регулирующих работу ЦНС.



Для ранее синтезированных 4-(2-алкиламино-1-гидрокси-1-метилэтил)бензойной и 4-(2-алкиламино-1-гидроксициклогексил)бензойной кислот были проведены фармакологические испытания *in vivo* на кафедре фармакологии ЯГМА. Было установлено, что данные соединения обладают анксиолитической (транквилизирующей) активностью, не проявляют значимого седативного действия. Различные модификации химической структуры данных соединений могут улучшить фармакокинетические свойства препаратов на их основе.

Целью настоящей работы являлось исследование химических превращений по карбоксильной и третичной спиртовой группам.

Была проведена реакция О-ацилирования 4-(2-алкиламино-1-гидрокси-1-метилэтил)бензойной и 4-(2-алкиламино-1-гидроксициклогексил)бензойной кислот по третичным спиртовым группам. В качестве ацилирующих реагентов были выбраны хлорангидриды ароматических карбоновых кислот. Реакция ацилирования проводилась при комнатной температуре при перемешивании и постепенном введении растворов аминосспиртов, в смеси растворителей ацетон/*N,N*-диметилформамид к растворам избытка хлорангидридов. При этом образуются аминокэфир с выходом 60-65 %.

# НОВЫЙ МЕТОД СИНТЕЗА 3,5-ДИФЕНИЛ-1,2,4-ОКСАДИАЗОЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ СУЛЬФОНАМИДНЫЙ ФРАГМЕНТ

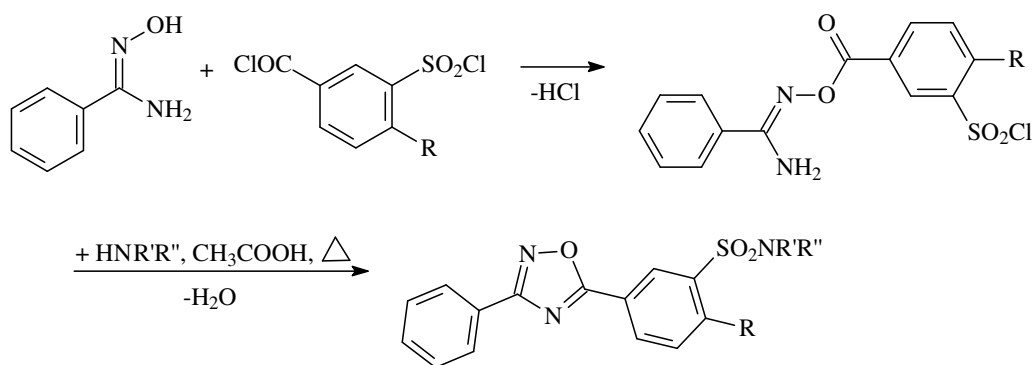
П.А. Агатъев

Научный руководитель – А.В. Тарасов, д-р хим. наук, профессор  
Ярославский государственный технический университет

Химия 1,2,4-оксадиазолов чрезвычайно широка, этот класс соединений нашел широкое применение в современном органическом синтезе, как в создании новых материалов (полимеров, жидких кристаллов), так и биологически-активных соединений (противовоспалительные препараты, противомикробные, противоопухолевые и т.д.).

3,5-Дифенил-1,2,4-оксадиазолы, содержащие сульфониламидную группу, уже используются как биологически активные соединения. Недавно открытый класс противоопухолевых соединений, ингибиторов металлопротеазы ММР-13, также включает в себя сульфопроизводные оксадиазолов, синтез которых зачастую является многостадийным и протекает с низким выходом. Прямое селективное введение сульфонилхлоридной группы в одно из бензольных ядер 3,5-дифенил-1,2,4-оксадиазолов при помощи сульфохлорирования, в большинстве случаев, невозможно и осуществимо только при сильной активации заместителями одного из ядер по отношению к другому. Поэтому остается актуальным поиск косвенных методов селективного введения сульфонилхлоридных групп в такую сложную полифункциональную структуру.

Предложенный нами метод синтеза представленных соединений основан на взаимодействии N-гидроксидбензамидов с дихлорангидридами сульфобензойных кислот. Разница в реакционной способности хлоркарбонильной и сульфонилхлоридной групп такова, что возможно селективное ацилирование хлоркарбонильной группой с сохранением сульфонилхлоридного фрагмента, который затем переводится в сульфониламидную группу. Последующая циклизация полученных сульфонамидов возможна по обычным методикам:



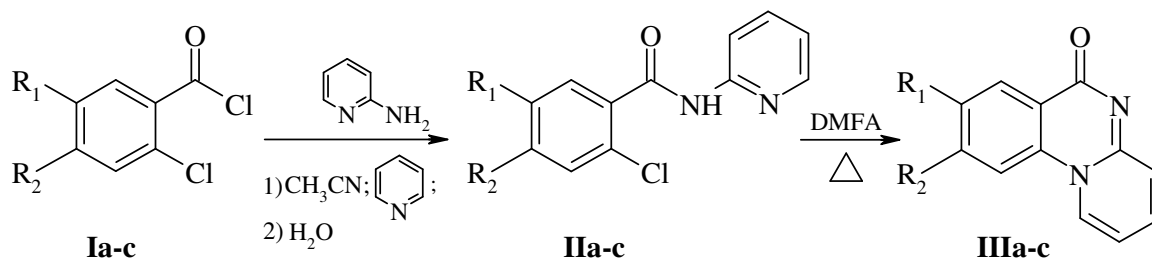
## СИНТЕЗ НОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ [a]-АННЕЛИРОВАННЫХ ПИРИДОХИНАЗОЛИНОВ

Р.М. Шленев, Н.А. Ножнин, А.В. Тарасов

Научный руководитель – А.В. Тарасов, д-р хим. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

В настоящее время возрастает объем исследований, направленных на разработку эффективных методов синтеза и функционализации конденсированных многоядерных гетероциклических производных хиназолинонов. Соединения данного класса проявляют широкий спектр биологически активных свойств, среди которых можно отметить: антимикробное, противовоспалительное, противогрибковое, противоопухолевое, противосудорожное, диуретическое и др.

В данной работе исследован двухстадийный синтез пиридо-[1,2-а]-хиназолин-6-онов (**IIIa-c**) на основе взаимодействия ряда производных *o*-хлорбензойных кислот (**Ia-c**) с 2-аминопиридином с последующей циклоконденсацией промежуточных амидов (**IIa-c**) в конечные продукты.



$R_1 = NO_2$  (**a, c**);  $H$  (**b**);  $R_2 = H$  (**a**);  $NO_2$  (**b**);  $Cl$  (**c**)

Реакция образования амидов (**IIa-c**) проводилась в среде ацетонитрила при комнатной температуре и эквимолярном соотношении реагентов. В реакционную массу для связывания выделяющегося хлористого водорода также добавлялось эквивалентное количество пиридина. По завершении реакции смесь разбавлялась 10-15 кратным объемом воды для более полного растворения образующихся солей. Выходы продуктов находятся в интервале 50-60 %. В  $^1H$  ЯМР спектрах соединений (**IIa-c**) зафиксированы характерные сигналы NH протонов.

Циклоконденсация полученных амидов (**IIa-c**) в целевые продукты (**IIIa-c**) проводилась в среде кипящего ДМФА в течение двух часов. Выходы полученных соединений находятся в пределах 20-40 %. В  $^1H$  ЯМР спектрах соединений (**IIIa-c**) зафиксировано отсутствие сигналов NH протонов и наличие сигналов протонов пиридинового и ароматического колец.



## **НОВЫЙ МЕТОД СИНТЕЗА АРОМАТИЧЕСКИХ НИТРИЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ СУЛЬФОНИЛХЛОРИДНУЮ ГРУППУ**

**И.М. Слободянюк, П.А. Агатьев, А.В. Тарасов**

Научный руководитель – А.В. Тарасов, д-р хим. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

В мировом тонком органическом синтезе с каждым годом все большую тенденцию приобретает усложнение молекулярной структуры соединений, что вызывает необходимость, в свою очередь, поиска новых и удобных методов органического синтеза этих соединений. К одному из таких направлений, по нашему мнению, следует отнести синтез ароматических нитрилов, содержащих в ароматическом кольце сульфонилхлоридную группу. Актуальным также является изучение свойств этих соединений и их функционализации по обеим функциональным группам.

Синтезируемые соединения имеют в своем составе две целевые группы, которые по отдельности находясь в ароматических структурах, широко применяются в промышленности. Известно, что гетероядерные и гомоядерные ароматические сульфонилхлориды имеют широкий спектр применения в фармацевтической промышленности - для синтеза широкого спектра лекарственных препаратов. Ароматические нитрилы применяются как в органическом синтезе, к примеру, для получения 1,2,4-оксадиазолов, так и в полимерной промышленности.

Синтезируемые соединения с целевыми группами достаточно сложно получить прямым введением требуемых групп в ароматическое кольцо. Например, при наличии нитрильной группы в ароматическом ядре любая попытка сульфохлорировать данное соединение ведет к деструкции нитрильной группы. Необходима разработка новых методов синтеза соединений без разрушения уже находящихся в молекуле целевых групп.

В качестве исходных соединений выбраны ароматические карбамиды, содержащие сульфонилхлоридную группу и ряд дополнительных заместителей. В качестве метода получения выбрана обработка исходного сульфонилхлорида, содержащего карбамидную группу, водоотнимающим агентом и соответствующим растворителем, который выступает еще и в роли катализатора. Реакцию проводили при нагреве, температура реакции, в зависимости от структуры исходного соединения, может достигать 100 °С. Исходные реагенты брали в различных пропорциях для выявления их оптимального соотношения.

Целевые соединения получены с различными выходами, в диапазоне от 60 до 80 %, в зависимости от строения исходного соединения.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ  
ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ  
ДЛЯ РАСЧЕТОВ ПРОЦЕССОВ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ**

**А.Е. Будилов, П.В. Воронцов, В.В. Худяков**

Научный руководитель – А.В. Тарасов, д-р хим. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

В настоящий момент надежное проектирование и анализ действующих химических производств и предприятий нефтепереработки невозможно себе представить без использования специализированных программных продуктов, моделирующих гидравлические, тепловые и массообменные процессы.

Известны несколько подобных продуктов, среди которых наибольшей популярностью пользуются HYSIM, HYSYS, AspenONE, CHEMCAD, DESIGN II, Pro II, ProVision а также пакет GIBBS, разработанный фирмой «Топэнергобизнес». Как и другие программные продукты, этот пакет позволяет рассчитывать большинство разделительных процессов нефтепереработки, а так же вспомогательное оборудование нефтяных производств. Кроме того, подобные пакеты позволяют рассчитать составы и многие товарные характеристики нефтепродуктов, такие как: температура застывания, температура вспышки, вязкость, давление насыщенных паров и другие. Это особенно важно в связи с тем, что существующие стандарты ориентированы не на компонентные составы топлив, а на конкретные их характеристики.

Нами проведены исследования по анализу составов исходного сырья различного происхождения методами стандартной разгонки и имитированной дистилляции. Изучены методы взаимного пересчета составов, полученных различными методами. Далее, с использованием демо-версии пакета GIBBS, были смоделированы три варианта работ установки первичной ректификации нефти (АТ), использующих различные источники сырья. Проведены технологические расчеты процесса ректификации в сложных ректификационных аппаратах с применением острого перегретого водяного пара в качестве отпаривающего агента, оборудованных стриппинг – секциями для вывода продуктов и циркуляционными орошениями для регулировки режима работы колонны.

Подобраны характеристики и параметры работы колонн, обеспечивающие заданное качество получаемых продуктов. Рассчитаны размеры основного и вспомогательного оборудования. Проведена экономическая оценка затрат на процессы разделения. Полученные данные могут использоваться при выполнении выпускных квалификационных работ бакалавров, специалистов, магистров.

**ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ  
РЕГЕНЕРАЦИОННОЙ КОЛОННЫ УСТАНОВКИ ДЕФЕНОЛЯЦИИ  
С ЦЕЛЮ УВЕЛИЧЕНИЯ СТЕПЕНИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ  
ЭКСТРАГЕНТА ИЗ ОБЕСФЕНОЛЕННОЙ ВОДЫ**

**К.А. Москвина**

Научный руководитель – Л.С. Григорьева, доцент, PhD  
*Таллиннский технический университет, Вирумааский колледж*

Водорастворимые сланцевые фенолы являются важнейшим сырьем для производства смол и индивидуальных алкилрезорцинов. Для извлечения их из воды используют метод экстракции. В качестве экстрагента применяют бутилацетат или изобутилацетат. Экстракция суммарных водорастворимых фенолов из фенольной воды осуществляется последовательно в четырех экстракционных колоннах.

Для очистки обесфеноленной воды от экстрагента проводят регенерацию органических растворителей из обесфеноленной воды отгонкой с водяным паром. На данный момент на установке дефеноляции регенерационная колонна имеет 12 пластинчатых тарелок. С каждым годом требования по содержанию органических веществ в сточной воде ужесточаются. Степень извлечения бутилацетата должна повыситься до очень высокой цифры (99,99 %). Существующее оборудование с этой задачей может не справиться. Поэтому решение указанной проблемы является актуальной и очень важной задачей.

Целью данной работы является достижение повышенной степени очистки обесфеноленной воды (99,99 % по бутилацетату) путем реконструкции действующей регенерационной колонны без изменения её габаритов. В данной работе рассмотрена возможность полной или частичной замены пластинчатых тарелок на насадку, представлены материальный и тепловой балансы, расчёт числа и гидравлического сопротивления пластинчатых тарелок, высоты и гидравлического сопротивления насадки, проведено их сравнение и сделаны соответствующие выводы.

Расчётами показана возможность использования имеющейся на установке дефеноляции регенерационной колонны для более полного извлечения бутилацетата и других летучих с водяным паром органических соединений после проведения реконструкции. Указанная реконструкция не должна привести к значительным затратам.

## **НЕКОТОРЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЫДЕЛЕНИЯ 1,2-ЭПОКСИЦИКЛОПЕНТАНА ИЗ ПРОДУКТОВ ОКИСЛЕНИЯ ЦИКЛОПЕНТЕНА ПЕРОКСИДОМ ВОДОРОДА**

**Е.Ю. Серова, И.А. Сосин, Г.В. Рыбина**

Научный руководитель – Г.В. Рыбина, канд. хим. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

На кафедре ХТОВ ЯГТУ разработан метод синтеза 1,2-эпоксидциклопентана окислением цикlopентена водным раствором пероксида водорода в присутствии каталитической системы на основе  $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , пероксида водорода и межфазного катализатора в среде ксилола. Найдено, что наилучшими условиями для получения 1,2-эпоксидциклопентана с селективностью более 95% является температура от 50 до 60 °С, pH водной фазы от 2,2 до 3,0 и соотношение  $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} : \text{H}_3\text{PO}_4 : \text{МФК}$ , равное 1 : 1 : 0,36. Взаимодействие цикlopентена с водным раствором пероксида водорода следует вести в его небольшом молярном избытке по отношению к ЦП, около 1,3 : 1.

Реакционная масса после окончания процесса расслаивается на органическую и водную фазу. Органическая фаза содержит цикlopентен, 1,2-эпоксидциклопентан, ксилол, следы воды и каталитический комплекс. В водной фазе находятся 1,2-циклопентандиол, вода, следы ксилола и эпексид. Выделение 1,2-эпоксидциклопентана происходит ректификацией из органической фазы. Показано, что после расслоения фаз при температуре реакции до 40 % от всего полученного количества эпексиды содержится в водной фазе. Экспериментально подтверждено, что при дальнейшем разделении водной фазы происходит гидратация эпексиды в соответствующий гликоль.

Изучено влияние температуры на процесс расслаивания реакционной смеси. В интервале температуры от 11 до 60 °С экспериментально определены равновесные концентрации и константы фазового равновесия в системе жидкость-жидкость для всех компонентов реакционной смеси. Установлено, что снижение температуры способствует росту величины константы распределения 1,2-эпоксидциклопентана, что приводит к уменьшению его потери в водной фазе. Показано, что для расслоения образующихся фаз в зависимости от температуры требуется от 5,5 до 1 мин.

Сравнение теоретических значений констант фазового равновесия компонентов смеси, найденных с учетом их коэффициентов активности в водной и органической фазах, показало удовлетворительное совпадение с экспериментальными величинами.

Полученные данные позволяют провести технологический расчет аппарата для расслоения реакционной смеси и другого оборудования.

## СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ДИЭТАНОЛАМИДОВ ЖИРНЫХ КИСЛОТ КОКОСОВОГО И РАПСОВОГО МАСЕЛ

**И.И. Ганич**

Научный руководитель – В.Л. Флейшер, канд. техн. наук, доцент  
*Белорусский государственный технологический университет*

В настоящее время в качестве пенообразователей и стабилизаторов пен широко используют амиды жирных кислот пальмового, пальмоядрового и кокосового масел, в частности – диэтаноламиды. В Республике Беларусь нет собственного производства амидов жирных кислот, поэтому изучение процесса их синтеза является актуальным.

Целью данной работы являлось получение диэтаноламидов жирных кислот кокосового и рапсового масел и исследование их свойств.

Процесс получения диэтаноламида заключается во взаимодействии триглицеридов жирных кислот растительных масел с диэтаноламином. Т.к. в молекуле триглицерида содержится 3 остатка жирной кислоты, то для превращения 1 моль триглицеридов жирных кислот в диэтаноламиды было использовано 3 моль диэтанолamina. В качестве катализатора использовали доступный гидроксид натрия.

Процесс проводили согласно следующей методике: в трехгорлую колбу помещали 50 г (0,06 моль) растительного масла (рапсового или кокосового), 11 мл (0,18 моль) диэтанолamina и 0,1 г катализатора NaOH. Реакционную смесь нагревали до 150 °С и выдерживали при этой температуре в течение 3-х часов.

Для полученных амидов были определены следующие показатели: выход, аминное число, массовая доля воды, содержание свободных аминов, рН. Результаты представлены в таблице 1.

**Таблица 1. Показатели диэтаноламидов жирных кислот**

Диэтаноламиды жирных кислот	Выход, % от теоретического	Аминное число, мг HCl/г	Содержание свободных аминов (в пересчете на диэтаноламин), %	рН	Массовая доля воды, %
Кокосового масла	84,5	7,45	2,17	8,90	0
Рапсового масла	81,0	9,85	2,83	9,14	0

Таким образом, исследования показали возможность синтеза диэтаноламидов жирных кислот кокосового и рапсового масел. Полученные амиды имеют сравнимые показатели. Для эффективного использования диэтаноламидов жирных кислот растительных масел необходимо детальное исследование их свойств.

## ИЗУЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ К ОКИСЛЕНИЮ ПРИ ТЕРМООБРАБОТКЕ

**И.А. Сидерко**

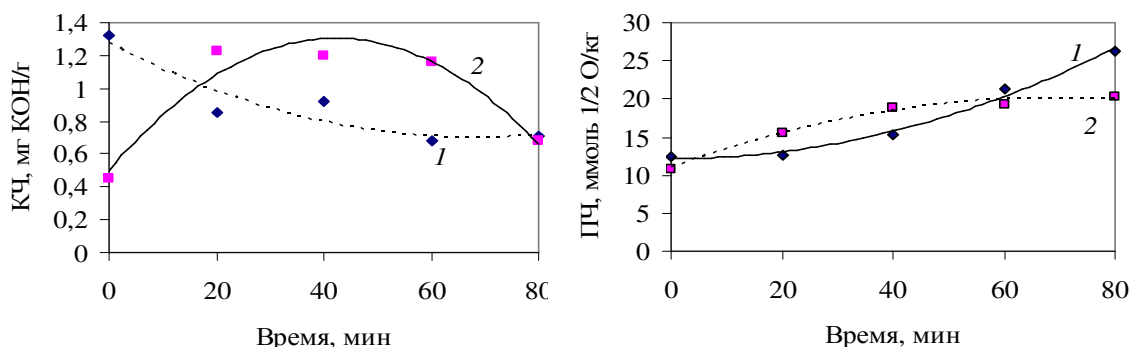
Научные руководители – Ж.В. Бондаренко, канд. техн. наук, доцент;

Г.Г. Эмелло, канд. техн. наук, доцент

*Белорусский государственный технологический университет*

Жиры и масла широко используются при получении различных продуктов питания. Они влияют на пищевую ценность, структуру, стабильность, органолептические характеристики и другие показатели готовых продуктов. Однако взаимодействие с кислородом воздуха приводит к окислительной порче масел, а повышенные температуры данному процессу способствуют.

Целью работы явилось изучение устойчивости к окислению рапсового масла (РМ) и масла из виноградных косточек (МВК). В работе использовали рапсовое масло марки П (рафинированное дезодорированное, Республика Беларусь) и рафинированное дезодорированное вымороженное масло из виноградных косточек (Италия). Масла подвергали термической обработке (перемешивание на магнитной мешалке при 65–75°C, 1000 мин<sup>-1</sup>, 20–80 мин). Для оценки процесса использовали кислотное (КЧ) и перекисное (ПЧ) числа. Полученные данные приведены на рис. 1.



**Рис. 1. Зависимость КЧ и ПЧ для рапсового масла (1) и масла из виноградных косточек (2) от продолжительности термообработки**

Установлено, что зависимость кислотного числа от продолжительности термообработки для МВК носит экстремальный характер, достигая максимального значения через 20 мин. Для РМ с увеличением продолжительности воздействия от 0 до 80 мин КЧ снижается почти в 2 раза. Перекисное число практически не изменяется при воздействии 20 мин для РМ, а для МВК показатель возрастает за 40 мин воздействия, а затем практически не изменяется. Объяснить это можно различным количеством и соотношением моно- и полиненасыщенных жирных кислот в маслах.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОЧИСТКИ СЛАНЦЕВОЙ СМОЛЫ КУКЕРСИТА ОТ СЕРУСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТОДОМ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ ГИДРООЧИСТКИ**

**А.С. Юркевичюте, Л.С. Григорьева**

Научный руководитель – Ю.Х. Сооне, PhD

*Таллиннский технический университет, Вирумааский колледж*

Современная нестабильная ситуация на нефтяном топливном рынке, а также постоянное увеличение спроса на моторные топлива приводят к поиску альтернативных источников сырья, одним из которых являются горючие сланцы. С учётом имеющихся природных ресурсов и экономического состояния производство моторных топлив из сланцев для некоторых стран может оказаться достаточно эффективным. Сланцевые смолы, получаемые в настоящее время в Эстонии по существующим технологиям переработки сланцев, в основном, применяют в качестве котельного топлива. Для получения моторного топлива из-за сложного углеводородного состава смолы и высокого содержания в ней серы необходима её предварительная подготовка. По стандартам развитых стран содержание серы в моторных топливах не должно превышать 15 ppm (США) и 10 ppm (Европа).

В научной работе представлены результаты исследования природы и состава серусодержащих соединений, влияния параметров процесса каталитической гидроочистки (температуры, давления) на степень их удаления из смолы полукоксования.

Показано, что методом каталитической гидроочистки содержание серы в смоле полукоксования кукерсита можно уменьшить на 99,5 % с 0,8 до 0,004 %. Увеличение температуры процесса от 350 до 450 °С при постоянном давлении водорода (10 МПа) приводит к снижению содержания серы в гидрогенизатах в 9 раз. Хроматографически установлено, что серусодержащие соединения в гидрогенизатах, в основном, представлены газообразными и низкокипящими соединениями ( $H_2S$ ,  $CS_2$ , этилмеркаптан и др.). Содержание соединений алкилтиофенового и алкилбензотиофенового рядов в гидрогенизатах по сравнению с исходной смолой незначительно. При увеличении давления массовое содержание серы в составе низкокипящих компонентов увеличивается.

Результатами работы показано, что метод каталитической гидроочистки смолы полукоксования может быть использован как одна из возможностей для получения малосернистых высококачественных сланцевых смол – основы моторных топлив.

## СОЛЮБИЛИЗАЦИЯ МАСЛА ЧАЙНОГО ДЕРЕВА В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ ПРЕПАРАТА GENAPOL LRO

Л.Д. Фирсова, П.В. Ивинская

Научные руководители – Г.Г. Эмелло, канд. техн. наук, доцент;

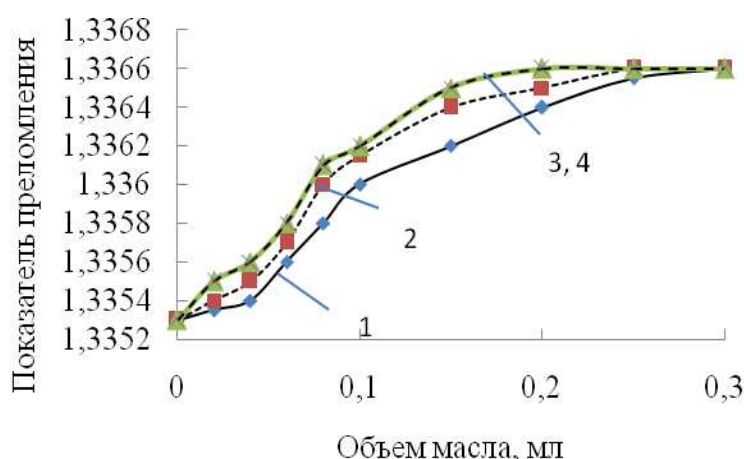
Ж.В. Бондаренко, канд. техн. наук, доцент

*Белорусский государственный технологический университет*

Препарат GENAPOL LRO представляет собой смесь анионных поверхностно активных веществ (диэтоксилаурилсульфат и диэтоксимирилсульфат натрия). Его используют в составе гигиенических моющих средств (ГМС), где он выполняет функции пенообразователя и стабилизатора пен. Масло чайного дерева также является одним из ингредиентов некоторых ГМС. Оно представляет собой прозрачную желтоватую жидкость с приятным запахом, является природным антисептиком, благоприятно влияет на клетки кожи и организм в целом. Как и другие масла, масло чайного дерева не растворяется в воде, но способно солюбилизоваться в коллоидных растворах ПАВ.

Целью работы явилось изучение солюбилизации масла чайного дерева в водных растворах препарата GENAPOL LRO с концентрацией 20 г/л. Данный раствор является мицеллярным, так как критическая концентрация мицеллообразования составляет 3-4 г/л, что было установлено нами ранее.

Рефрактометрическим методом анализа определены показатели преломления водных растворов ПАВ (10 мл), содержащих масло чайного дерева в количестве 0,02–3,00 мл (22 °С) через различные промежутки времени встряхивания систем. Результаты представлены на рис. 1.



**Рис. 1.** Зависимость показателя преломления водного раствора ПАВ от содержания масла и времени встряхивания, мин: 1 – 10; 2 – 30; 3 – 60; 4 – 120

10 мл водного раствора ПАВ; он составил 0,095 мл.

Установлено, что состояние равновесия достигается после встряхивания систем в течение 60 мин. Солюбилизирующая способность растворов препарата ПАВ определялась по методу, предложенному А. И. Юрженко. Из графика следует, что максимальное значение показателя преломления составило 1,3366, по нему был рассчитан объем масла, который солюбилизируется в



**ИЗУЧЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА  
ДЕКАРБОКСИЛИРОВАНИЯ И ДЕКАРБОНИЛИРОВАНИЯ  
ЖИРНЫХ КИСЛОТ ТАЛЛОВОГО МАСЛА С ЦЕЛЬЮ  
ПОЛУЧЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ**

**Н.В. Овсянникова, В.В. Соловьев**

Научный руководитель – В.В. Соловьев, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

В настоящей работе вместо различных видов растительного масла, которое традиционно перерабатывается в биотопливо путем переэтерификации или алкоголиза, предлагается использовать талловое масло – продукт переработки древесины – с целью получения на его основе различных органических продуктов, пригодных в качестве топлива и сырья для химической промышленности. Анализ постоянно увеличивающихся производственных мощностей (вновь строящихся установок и реконструированных цехов) целлюлозно-бумажных комбинатов Российской Федерации показал, что растительная биомасса в виде маслосодержащих отходов ЦБК в ближайшей перспективе может рассматриваться в качестве одного из потенциальных источников возобновляемого сырья для производства химических веществ, а также компонентов моторных топлив и различных материалов с высокой добавленной стоимостью. В ходе работы было установлено, что в ряду разнообразных способов (вакуумная разгонка, этерификация, омыление и последующее разложение продуктов синтеза), предложенных для переработки таллового масла, значительный интерес представляют процессы декарбоксилирования или декарбонилирования содержащихся в нем жирных кислот, а также термодеструкции исходного таллового масла и продуктов синтезов на его основе с целью получения различных углеводородов, которые могли бы использоваться как компоненты моторных топлив.

В лабораторных условиях был опробован периодический процесс термического разрушения жирных кислот таллового масла с целью поиска наиболее подходящих условий для проведения реакций декарбоксилирования и декарбонилирования. Процесс расщепления жирных кислот и их производных изучался в жидкой фазе в интервале температур от 240 до 320 °С с шагом в 20 °С. Установлено, что за ходом процесса декарбоксилирования можно наблюдать по уменьшению кислотного числа и числа омыления, отвечающих за наличие карбоксильной группы. По изменению йодного числа можно судить о степени сохранности числа двойных связей в молекулах. Уменьшение йодного числа говорит о вступлении части молекул в реакции уплотнения или о преобладании процессов уплотнения над реакциями крекинга.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕОБРАТИМОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЦИКЛООЛЕФИНОВ, ПРОТЕКАЮЩЕЙ НА ДВУХ ТИПАХ АКТИВНЫХ ЦЕНТРОВ

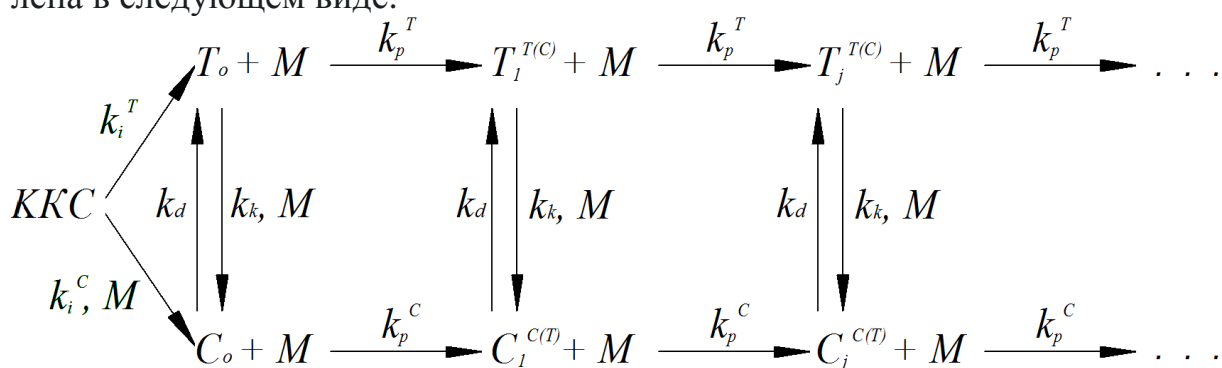
А.А. Хасанов, А.В. Красильников, А.А. Баранова, В.А. Ефимов

Научный руководитель – В.А. Ефимов, д-р хим. наук, профессор

Ярославский государственный технический университет

Свойства полимеров, получаемых в результате метатезисной полимеризации циклоолефинов, точно так же как и других типов полимеров, во многом определяются содержанием *цис*-двойных связей и их распределением в полимерной цепи. В связи с этим создание адекватной математической модели, описывающей формирование звеньев различного типа в процессе полимеризации, является исключительно важной задачей для получения полимеров с наперед заданными свойствами.

Нами рассмотрен механизм формирования микроструктуры полимерной цепи в процессе необратимой полимеризации циклоолефинов с участием двух типов активных центров, различающихся стереоспецифичностью действия. Кинетическая схема такого процесса может быть представлена в следующем виде:



где  $KКС$  – концентрация компонентов каталитической системы;

$M$  – концентрация мономера;

$C_o$  и  $T_o$  – концентрация первичных *цис*- и *транс*-регулирующих активных центров соответственно;

$C_j^{C(T)}$  и  $T_j^{C(T)}$  – концентрация *цис*- и *транс*-регулирующих активных центров, оканчивающихся на *цис*(*транс*)-звено у активного центра с длиной цепи, равной  $j$  ( $j \in [2, \infty]$ ) соответственно;

$k_i^C$  и  $k_i^T$  – константы скоростей образования  $C_o$  и  $T_o$  соответственно;

$k_p^C$  и  $k_p^T$  – константы скоростей роста цепи на  $C_j^{C(T)}$  и  $T_j^{C(T)}$  соответственно;

$k_k$  и  $k_d$  – константы координации и декоординации молекулы мономера на вакантном месте атома переходного металла.

Первичные активные центры  $T_0$  и  $C_0$  образуются из компонентов катализатора с определенной первичной стереоселективностью ( $S$ ), которая определяется валентным состоянием и лигандным окружением атома переходного металла. В связи с этим константы скоростей образования  $C_0$  ( $k_i^C$ ) и  $T_0$  ( $k_i^T$ ) можно выразить через общую константу скорости инициирования  $k_i$ ,  $k_i^C = Sk_i$ ,  $k_i^T = (1 - S)k_i$ .

*Цис*- и *транс*-стереорегулирующие активные центры, содержащие в своем составе полимерную цепь длиной  $j$ , образуются при взаимодействии активных центров, содержащих полимерную цепь длиной  $j-1$ , с молекулой мономера. Таким образом, осуществляется последовательное удлинение полимерной цепи, заканчивающиеся только с полным исчерпанием мономера в полимеризационной системе.

Схема реакции предусматривает образование *цис*-регулирующего активного центра из *транс*-регулирующего за счет координации молекулы мономера на вакантном координационном месте переходного металла, координация на котором не приводит к росту цепи. Данная реакция обратима. На основании предложенной кинетической схемы была разработана математическая модель и создана программа для ее решения.

Результаты расчета молекулярно-массового распределения полимера и его параметров свидетельствуют о том, что на начальных стадиях процесса полимеризации коэффициент полидисперсности больше единицы, дальнейшее увеличение конверсии мономера приводит к образованию полимера с распределением Пуассона.

Решение прямой кинетической задачи показало, что микроструктура цепи в значительной степени определяется соотношениями констант скоростей реакций отдельных стадий процесса. При этом содержание *цис*-звеньев в цепи может изменяться в широком диапазоне значений. Характер изменения содержания *цис*-звеньев также определяется значениями констант скоростей реакций. Увеличение конверсии мономера может приводить как к уменьшению, так и к увеличению их содержания. Аналогичные закономерности наблюдаются в случае коэффициента микрогетерогенности. Наибольшее влияние на данный параметр оказывает значение константы равновесия. Предложенная математическая модель будет использоваться при решении обратной задачи химической кинетики применительно к необратимой метатезисной полимеризации циклоолефинов.

## К ВОПРОСУ О СТЕРЕОСЕЛЕКТИВНОСТИ МЕТАТЕЗИСНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЦИКЛООКТЕНА

Н.С. Комиссарова, А.О. Калачев, В.А. Ефимов

Научный руководитель – В.А. Ефимов, д-р хим. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Нами проведена проверка гипотезы Сятковского А.И. (ВНИИСК, г. Ленинград) о протекании метатезисной полимеризации циклооктена (ЦО) с раскрытием кольца на одном типе активных центров, а также рассмотрены предположения о том, что концентрации и состав катализатора, и концентрации мономера не влияют на процесс стереорегулирования.

Поскольку процесс метатезисной полимеризации ЦО сопровождается *цис*- и *транс*-изометрией двойных связей полимерной цепи, то для проверки выдвинутой гипотезы необходимо было в первую очередь определить критическую глубину полимеризации для всех исследованных диапазонов изменения концентрации исходных реагентов, ниже которых вклад реакции изомеризации в микроструктуру цепи будет незначителен.

В области конверсий мономера меньше критической все экспериментальные результаты ( $\sigma = f(\alpha)$ , где  $\sigma$  – содержание *цис*-звеньев в полимерной цепи,  $\alpha$  – конверсия мономера) описываются линейной зависимостью с высокой степенью достоверности ( $R^2 \rightarrow 1$ ), вне зависимости от соотношения компонентов катализатора и его концентрации. Таким образом, предположения о независимости стереорегулирования в процессе метатезисной полимеризации ЦО от состава и концентрации катализатора нашли свое статистическое подтверждение.

Нами установлено, что при начальных концентрациях ЦО менее 0,8 моль/л стереоселективность катализатора на начальных этапах процесса ( $\alpha \rightarrow 0$ ) в существенной степени зависит от исходной концентрации мономера. Такое влияние может быть интерпретировано в рамках гипотезы, предусматривающей формирование микроструктуры двойных связей полимерной цепи с участием как минимум двух типов активных центров, различающихся координационной ненасыщенностью переходного металла.

Таким образом, обработка полного массива экспериментальных данных, касающихся метатезисной полимеризации ЦО, свидетельствуют в пользу осуществления стереорегулирования при раскрытии кольца данного циклоолефина, как минимум, на двух типах активных центров, различающихся координационной ненасыщенностью и стереоспецифичностью действия.

## **К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ СТЕРЕОРЕГУЛИРОВАНИЯ ПРИ МЕТАТЕЗИСНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЦИКЛООЛЕФИНОВ**

**Н.С. Комиссарова, А.О. Калачев, В.А. Ефимов**

Научный руководитель – В.А. Ефимов, д-р хим. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Нами проведен анализ литературных данных, касающихся механизма стереорегулирования при метатезисной полимеризации циклоолефинов.

В литературе представлено достаточно большое количество гипотез, касающихся механизма стереорегулирования. В частности нами рассмотрены основные типы механизмов, различающиеся количеством и типом активных центров, ведущих полимеризацию и соответственно принимающих участие в стереорегулировании.

В работах Сятковского с соавторами выдвинуто предположение о том, что процесс полимеризации протекает на одном типе активных центров, приводящих к образованию *цис*- и *транс*-двойных связей полимерной цепи с определенной стереоселективностью.

Другими исследователями предлагаются механизмы процесса стереорегулирования, предусматривающие протекание полимеризации на двух или более типах активных центров, различающихся стереоспецифичностью действия.

Исследователями Королевского университета Белфаста и университета Луи Пастера в Страсбурге было установлено, что полимеризация протекает, по крайней мере, на двух кинетически различных активных центрах, имеющих различную активность в присоединении мономера с образованием *цис*- и *транс*-звеньев.

Айвин и соавторы последовательно развивают модель стереорегулирования, в основу которой положено утверждение о возможности вхождения мономера в координационную сферу металла путем замещения последней двойной связи полимерной цепи, находящейся в координированном состоянии. Полные схемы стереорегулирования предусматривают существование в основном трех типов, кинетически различающихся активных центров: комплекс металл-карбен, в котором *цис*-двойная связь, образовавшаяся в предыдущем акте присоединения, остается координированной на атоме металла и характеризуется параллельным или перпендикулярным расположением относительно карбена; активные центры, образующиеся при декоординации двойной связи (*цис* или *транс*); полностью релаксированные центры, в которых лиганды образуют наиболее устойчивую конфигурацию.

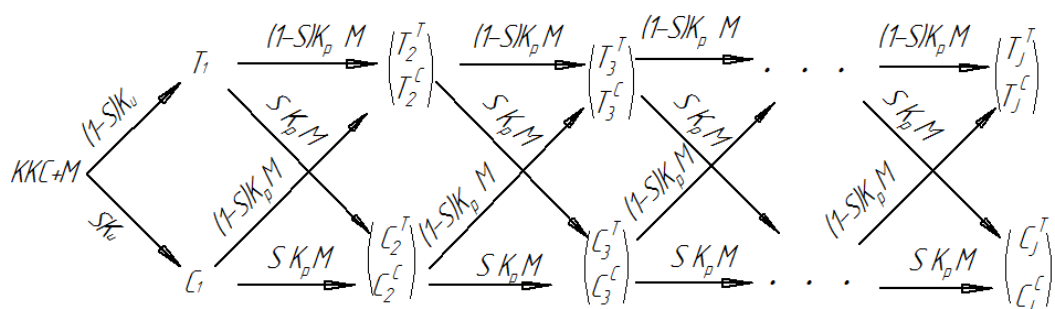
# АНАЛИЗ МОДЕЛИ МЕТАТЕЗИСНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ, ПРОТЕКАЮЩЕЙ НА ОДНОМ ТИПЕ АКТИВНЫХ ЦЕНТРОВ

С.С. Комиссарова, С.А. Логинов В.А. Ефимов

Научный руководитель – В.А. Ефимов, д-р хим. наук, профессор  
Ярославский государственный технический университет

Существует несколько гипотез, касающихся процесса стереорегулирования при метатеэисной полимеризации циклоолефинов. Одна из них заключается в том, что процесс протекает на одном типе активных центров, характеризующихся стереоселективностью образования *цис*-звеньев ( $S_0$ ).

В связи с этим, нами выполнен анализ кинетической схемы живущей необратимой полимеризации, протекающей на одном типе активных центров, приводящих к образованию *цис*-звеньев с вероятностью  $S_0$ .



где  $KKC$  – концентрация компонентов каталитической системы;

$M$  – концентрация мономера;  $j$  – длина полимерной цепи;

$C_1, T_1$  – концентрация активных центров, содержащих на конце двойную связь в *цис*- и *транс*-конфигурации соответственно;

$C_j^{C(T)}$  – концентрация активных центров, содержащих на конце диады  $Cc$  ( $Ct$ );

$T_j^{T(C)}$  – концентрация активных центров, содержащих на конце диады  $Tt$  ( $Tc$ );

$K_u$  – константа инициирования;

$K_p$  – константа роста полимерной цепи.

На основании выше приведенной схемы разработана математическая модель процесса. Получено аналитическое решение математической модели относительно микроструктуры ( $\sigma$  – содержание *цис*-звеньев, доля):

$$\sigma = S_0$$

Полученное решение свидетельствует о том, что микроструктура полимерной цепи зависит только от стереоселективности раскрытия двойной связи и не зависит от концентраций мономера, катализатора и конверсии мономера.

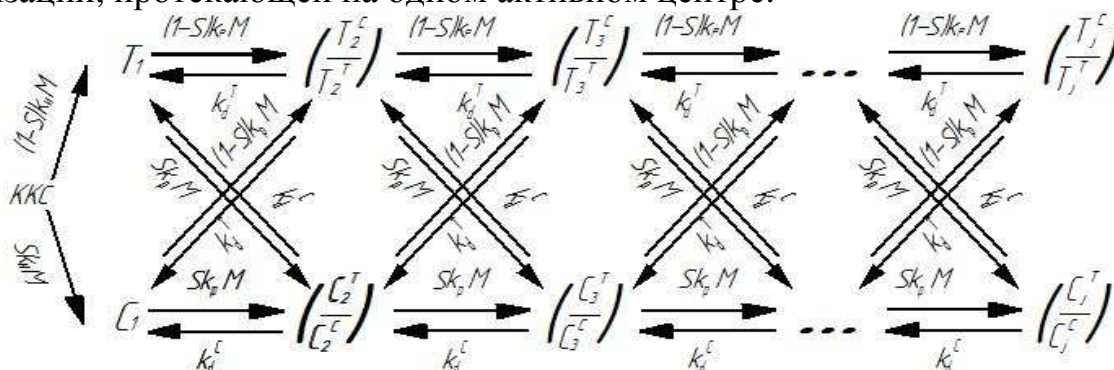
# МОДЕЛИРОВАНИЕ «ЖИВУЩЕЙ» ОБРАТИМОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЦИКЛОПЕНТЕНА, ПРОТЕКАЮЩЕЙ НА ОДНОМ ТИПЕ АКТИВНОГО ЦЕНТРА

Ю.А. Родионов, К.С. Купоросов, Е.Н. Прокофьева, В.А. Ефимов

Научный руководитель – В.А. Ефимов, д-р хим. наук, профессор

Ярославский государственный технический университет

Метатезисная полимеризация циклоолефинов открывает широкие возможности синтеза различных полимерных материалов, отличающихся структурой и молекулярной массой. При прочих равных условиях свойства полимеров определяются содержанием *цис* – двойных связей и характером их распределения в полимерной цепи. В научной литературе имеется достаточно большое количество гипотез, касающихся механизма стереорегулирования при метатезисной полимеризации циклоолефинов. Нами рассмотрена одна из таких гипотез - процесс «живущей» обратимой полимеризации, протекающей на одном активном центре:



где  $KKC$  – концентрация компонентов каталитической системы,  $S$  – стереоселективность образования *цис*-звеньев в элементарном акте раскрытия кольца,  $(1-S)$  – стереоселективность образования *транс*-звеньев в элементарном акте раскрытия кольца,  $k_u$  – константа скорости инициирования,  $M$  – концентрация мономера,  $C_1$  – первичный активный центр, оканчивающийся на *цис*-звено,  $T_1$  – первичный активный центр, оканчивающийся на *транс*-звено,  $k_p$  – константа скорости роста цепи,  $k_d^C$  и  $k_d^T$  – константы скоростей деполимеризации мономера с активных центров  $C_j$  и  $T_j$ .  $C_j^{C(T)}$  и  $T_j^{C(T)}$  – концентрация *цис*- и *транс*- регулирующих активных центров, оканчивающихся на *цис*(*транс*)-звено у активного центра с длиной цепи, равной  $j$  ( $j \in [3, \infty]$ ), соответственно.

На основании данной кинетической схемы нами разработана математическая модель процесса и составлена программа для ее решения. Решение прямой кинетической задачи позволило исследовать влияние параметров процесса на микроструктуру и блочность цепи.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НОВОГО БИОКОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА**

**К.А. Мягкова, Е.А. Полякова, А.И. Бурова**

Научный руководитель – И.С. Коротнева, канд. хим. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

В настоящее время одной из актуальных задач является создание нового класса биоразлагаемых композиционных материалов на основе полимеров, не приносящих вред окружающей среде и здоровью человека. Одним из распространенных и наиболее эффективных способов придания биологической разрушаемости синтетическим полимерам является введение в полимерную композицию различных природных наполнителей, в частности крахмала, и других ингредиентов.

Композиционный материал, созданный на основе латекса карбоксил-содержащих бутадиен-метилметакрилатных сополимеров и картофельного и кукурузного крахмала, а также с использованием пластификатора - глицерина и касторового масла, консерванта - бензоата натрия, антиокислителя – ацетата токоферола, подвергался различным испытаниям.

Образцы успешно выдержали испытания падением и ударом по стандартным методикам (ГОСТ Р 51555-99), при этом не происходило нарушения целостности, не образовывались трещины и разрывы на поверхности материала.

Исследование композиционного материала на устойчивость к замораживанию-оттаиванию выявило сохранение способности к формированию изделий необходимой формы и возможности транспортировки при отрицательных температурах.

Полимерные композиционные материалы после окончания срока эксплуатации должны достаточно быстро деградировать под воздействием окружающей среды: УФ-облучения, водной среды, микромицетов-биодеструкторов. После УФ-облучения обнаружено пожелтение образцов, что свидетельствует о фотохимической деструкции. После инкубации на 10 суток микромицетов видов *Aureobasidium pullulans* и *Dematiaceae*, наблюдалось биообрастание микромицетами, что подтверждается микроскопическими исследованиями. До и после воздействий были определены деформационно-механические характеристики материала, которые свидетельствуют о деструктивных изменениях в композите.

Таким образом, исследование свойств нового биокomпозиционного материала подтверждает эффективность его использования в декоративно-прикладном искусстве и возможности биодеструкции под действием факторов окружающей среды.



## **ПОЛУЧЕНИЕ ЛАТЕКСНО-ТКАНЕВОГО КЛЕЯ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**В.В. Фролов, А.И. Микулина, И.С. Шпагина, Е.А. Полякова**

Научный руководитель – И.С. Коротнева, канд. хим. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

Надежный гемостаз и герметичность раневых поверхностей являются важными составляющими при выполнении хирургических операций на различных органах.

В настоящее время в хирургической практике применяют биоинертные многокомпонентные фибриновые клеи. Однако производство таких клеев связано со сложными технологиями, а применение ограничивается неуверенностью в прочности и достаточной адгезивности полимеризованной плёнки и высокой стоимостью таких композиций. Цианакрилатные клеи, которые постоянно совершенствуются, также имеют ряд существенных недостатков, которые ограничивают возможность их применения и определяют необходимость поиска клеевой композиции на иной химической основе. Синтетические латексно-тканевые клеевые композиции слабо стимулируют регенерационные процессы, хотя и имеют хорошие физико-механические свойства. В связи с этим актуальными являются разработка более эффективных клеевых композиций на основе смесей синтетических и природных полимеров, которые совмещали бы их преимущества.

Настоящее исследование является продолжением цикла работ по получению латексно-тканевого клея на основе природного казеина и синтетических полимеров и использование его в качестве полимерной основы адгезивов медицинского назначения. Предлагается два способа получения адгезива. Первый способ заключается в получении синтетической водной дисперсии. При проведении процесса осуществлялась прививка бутадиена-1,3, диметиламиноэтилметакрилата к макромолекулам казеина. Для инициирования процесса использовались гидропероксидные соединения. Казеин, растворенный в водно-щелочном растворе, является и полимером, на который происходит прививка, и в то же время обладает поверхностной активностью, поэтому выполняет роль эмульгатора. Второй способ заключается в приготовление искусственной дисперсии. Искусственные дисперсии изготавливались на основе промышленного 1,4-цис-полибутадиена марки СКД-НД и казеината калия (казеината аммония) в качестве эмульгатора. В качестве загустителей использовался раствор поливинилового спирта или натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы. Полученные синтетические и искусственные водные дисперсии сополимеров обладали высокой адгезией к различным поверхностям.

## **ИЗОМЕРИЗАЦИЯ ЭПОКСИ- И АМИНОСОДЕРЖАЩИХ ОЛИГОБУТАДИЕНОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ СИСТЕМ**

**А.И. Журина, А.Г. Родионова, Е.Е. Заозерова, Н.С. Минеева**

Научный руководитель – Н.С. Минеева, канд. хим. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

В настоящее время полимеры находят все более широкое применение в различных областях техники, медицине и быту. Начиная с 80-х годов 20 века, в медицине применяются полимерные материалы со специальными свойствами. Современным направлением химико-фармацевтической отрасли является применение полимеров в биологически активных системах в качестве носителей и пролонгаторов лекарственных средств. Для этих целей используются как синтетические, так и полимеры природного происхождения. Поэтому поиск новых полимерных материалов является одной из важнейших задач медицинской химии. Известно, что кетоны используются для синтеза лекарственных препаратов, очистки антибиотиков, получения полимеров.

В последние годы появился новый класс соединений - алифатические поликетоны, которые были использованы в качестве биосовместимого клеточного каркаса. Биологически активные фрагменты, например моносахаридов, способны к ковалентному связыванию с основной цепью поликетонов.

Известно, что перспективным методом синтеза кислородсодержащих соединений является изомеризация эпоксидов. В связи с этим, исследование реакций химической модификации эпокси- и аминсодержащих олигобутadiенов методом изомеризации, направленное на разработку доступных методов получения новых полифункциональных соединений, а также исследование их взаимодействия с индивидуальными органическими соединениями, обладающими биологической активностью, представляет значительный научный и практический интерес. Исследована изомеризация модифицированных олигобутadiенов в присутствии галогенидов металлов в массе и среде растворителей. Синтезированные таким образом олигобутadiены содержат в цепи эпокси-, амина- и кетогруппы.

Методами химического анализа и ИК-спектроскопии показано, что образование новых биологически активных полимерных систем на основе олигобутadiенов происходит в результате взаимодействия эпокси-, амина- и кетогрупп с функциональными группами биологически активных соединений.

## **МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОЛИГОБУТАДИЕНОВ**

**А.Ю. Воронин, Е.Е. Заозерова, А.В. Филатов, Н.С. Минеева**  
Научный руководитель – Н.С. Минеева, канд. хим. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Металлополимерные композиты в настоящее время находят применение в различных отраслях промышленности. Эти материалы представляют собой дисперсии неорганических веществ (наночастиц) в матрице полимера, связанных ионными и координационными связями. Включение в состав полимерной системы металлов придает ей такие свойства, как высокие тепло- и электропроводность, сопротивление механическому износу, что раскрывает широкие возможности применения таких полимеров. Металлополимерные системы получают различными методами, однако наиболее распространенным и перспективным является электрохимический метод.

Металлополимерные системы с медью и оловом получали на основе аминированного эпоксиолигобутадиена со степенью модификации, достаточной для его перевода в водорастворимое состояние и остаточным содержанием эпоксигрупп, способных принимать участие в процессе отверждения. В качестве нейтрализующих агентов использовали ортофосфорную, борную, лимонную и молочную кислоты, как наиболее доступные и обладающие высокой реакционной способностью в композициях с модифицированными каучуками. Особого внимания в качестве солеобразующего агента заслуживают ортофосфорная и борная кислоты, которые наряду с нейтрализующей функцией и функцией отвердителя по эпоксигруппам, играют роль пассиваторов коррозии, огнестойких и бактерицидных свойств. Металлополимерные системы получали электрохимическим методом на лабораторных установках.

Изучено влияние природы кислоты, степени нейтрализации, концентрации водных растворов, времени и электрических параметров на содержание металлов в полимерной системе. Показана возможность получения покрытий из металлосодержащих полимерных систем на основе водорастворимых полифункциональных олигобутадиенов методом катодного электроосаждения.

## **НОВЫЕ БИОГИБРИДНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОЛИГОБУТАДИЕНОВ И БЕЛКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

**И.А. Баженов, Н.С. Минеева, С.В. Красников, Т.Е. Абрамова**

Научный руководитель – Н.С. Минеева, канд. хим. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

Модификация полимеров с целью получения материалов с новыми или улучшенными свойствами привлекает постоянный интерес исследователей, поскольку исходные материалы не обладают комплексом свойств и характеристик, необходимых для того или иного их практического применения. Перспективным направлением модификации полимеров является использование микро- или нано- модификаторов, которые придают полимерным материалам комплекс уникальных свойств. Нанометровый размер модификаторов открывает новые свойства материалов: физические и химические, где очень близко сходятся такие науки как химия, физика и биология. Значительный практический и научный интерес представляют представляют новые материалы: металлополимерные нанокомпозиты, которые сочетают свойства органических и неорганических веществ и раскрывают широкие возможности для их различного применения; так же большой интерес представляют наноматериалы, полимерные матрицы которых содержат биологически активные вещества: белки, нуклеотиды, ферменты, которые придают системам уникальные свойства и способны к самосборке и наноструктурированию. Большой интерес для создания новых полимерных наноматериалов представляют жидкие углеводородные каучуки, которые могут быть химически модифицированы, для придания нового комплекса свойств. Наличие в олигомерной цепи модифицированных олигобутадиенов различных функциональных, гидрофильных и гидрофобных групп позволяет широко использовать их в орго- и водорастворимых полимерных системах. Это дает возможность применять их в качестве иммобилизаторов белков, носителей биологически активных веществ и для создания металлополимерных нанокомпозитов электрохимическим методом. Синтезированы новые полимеры на основе полифункциональных олигобутадиенов с азотсодержащими биологически активными карбоновыми кислотами, глицином, гепарином и белковыми соединениями. Спектральными методами и химическим анализом исследованы структура и свойства новых соединений. Установлено, что происходит ионное и ковалентное связывание вышеуказанных веществ с полифункциональными олигобутадиенами. Таким образом, опираясь на экспериментальные и литературные данные, мы предполагаем, что полифункциональные олигобутадienes перспективны в создании материалов биомедицинского и биоинженерного назначения, в микро- и нано- электронике и могут быть полезными в различных сферах человеческой деятельности.

## **МЕТОДЫ ОКРАШИВАНИЯ ПРЕПАРАТОВ В СВЕТОВОЙ МИКРОСКОПИИ**

**В.Д. Туманова, Е.А. Попова, Ю.М. Шевалдина**

Научный руководитель - О.В. Доброхотов, аспирант

*Ярославский государственный технический университет*

Первый микроскоп появился в 16 веке, но его конструкция была достаточно примитивна. В нем можно было рассмотреть лишь очертания клеток. Спустя два столетия ученые изобрели световой микроскоп, позволяющий определить форму, размеры, строение и многие другие характеристики микрообъектов. Световой микроскоп позволяет изучать объекты с размерами в десятые доли микрона - в тысячи раз более мелкие, чем объекты, доступные для изучения невооруженным глазом.

Однако при использовании световой микроскопии существуют ограничения связанные с тем, что изучаемые объекты должны быть не бесцветными. Значительное количество органоидов клетки не имеет окрашивания, поэтому неразличимы между собой при изучении методами световой микроскопии. Поэтому актуальным является поиск и изучение веществ, которые могли бы снять это ограничение.

Окрашивание позволяет выявить внутриклеточные структуры, обладающие повышенным сродством к определенным красителям. Например, окрашивание препарата гематоксиленом - эозином позволяет выявить почти все клетки и многие неклеточные структуры. В результате окрашивания ядра приобретают сине-фиолетовый цвет, а цитоплазма - желто-розовый цвет. Несмотря на то, что в данной области уже достигнуты значительные результаты, поиск красителей, способных селективно взаимодействовать с различными органоидами клетки, остается актуальной задачей.

В нашей работе мы показали возможность использования коммерчески доступных красителей различной структуры для окрашивания клеток, в т.ч. бриллиантовый зеленый, метиленовый голубой, судан III и др. Было исследовано влияние различных факторов (растворители, время окрашивания и др.) на проведение окрашивания, были определены наилучшие условия.

**ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОЛИГОБУТАДИЕНЫ  
И ЛОКАЛЬНАЯ ДИНАМИКА СЕТЧАТЫХ СТРУКТУР  
НА ИХ ОСНОВЕ С ФОСФОРБОРСОДЕРЖАЩИМИ  
И БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫМИ КИСЛОТАМИ**

**Т.Е. Абрамова, И.А. Баженов, Н.С. Минеева, М.Е. Соловьев**

Научный руководитель – Н.С. Минеева, канд. хим. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

Современный уровень развития техники требует создания и массового применения высококачественных конкурентоспособных отечественных полимерных материалов (ПМ). В последние годы значительный практический и научный интерес представляют жидкие эпоксицированные каучуки и продукты их модификации аминами. Важнейшим свойством полифункциональных олигобутадиенов (ПО) является их способность к пленкообразованию. Благодаря этому на их основе были получены полимеры сетчатой структуры, которые находят применение в качестве покрытий по металлу, древесине, адгезивов, демпфирующих составов, катодорезных лакокрасочных материалов, полимеров с пониженной горючестью и бактерицидной стойкостью, а также биodeградируемых полимерных систем. Изучение процесса структурирования и свойств сетчатых полимеров, формирующихся в присутствии различных отверждающих агентов представляет значительный научный и практический интерес. Наиболее перспективными современными отвердителями для ПО являются минеральные, органические кислоты: фосфорная, борная, щавелевая, молочная, лимонная, азотсодержащая производная карбоновых кислот, а также аминокислоты. Свойства сетчатых полимеров, полученных сшиванием линейных полимеров, сильно зависят от типа поперечных связей, который оказывает влияние на уровень межмолекулярных взаимодействий и локальную подвижность молекул в композите. Это затем проявляется во многих эксплуатационных характеристиках, прежде всего вязко- и термоупругих и прочностных свойствах. Экспериментальное исследование влияния кислот на свойства отвержденных ПО весьма затруднительно. В этих условиях метод молекулярно-динамического моделирования является весьма эффективным средством решения задачи. В результате молекулярно-динамического эксперимента были построены графики зависимости изменений выбранных геометрических расстояний от времени для эпоксицированных и аминированных олигобутадиенов, а также гистограммы распределения вероятностей расстояний между концевыми атомами углерода разных цепей и между кислородными атомами гидроксильных (эпоксидных) групп для сшитых молекул. На основании анализа динамики локальных движений сшитых полифункциональных олигобутадиенов был предложен научный подход для создания композиций целевого назначения с улучшенным комплексом эксплуатационных свойств.

## **РЕАКЦИИ ИЗОЦИАНАТОВ**

**Т.А. Ерохина, Е.А. Индейкин**

Научный руководитель – Е.А. Индейкин, канд. хим. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Изоцианаты являются высоко реакционноспособными соединениями. Они легко реагируют с соединениями, содержащими подвижные атомы водорода, например аминами и спиртами. Этот процесс широко используют в лакокрасочных составах для отверждения гидроксилсодержащих пленкообразователей.

Разработка полиуретановых ЛКМ на основе дисперсий гидроксилсодержащих полимеров и полиизоцианатов и в настоящее время остается достаточно сложной задачей, в первую очередь, из-за ряда побочных реакций, протекающих в вышеуказанных системах.

Декоративные и защитные свойства формирующихся покрытий будут зависеть от образования однородной и плотной пространственной сетки полимера, главным условием достижения которой является максимально однородное смешение дисперсии гидроксилсодержащего полимера и полиизоцианата. Из литературных источников, известно, что диспергированию полиизоцианатов в водной среде способствуют такие факторы: уменьшение межфазного поверхностного натяжения; большие усилия сдвига при эмульгировании; низкая вязкость дисперсной фазы (полиизоцианатного компонента).

На настоящий момент проведено достаточно много работ в области изучения доли побочных реакций изоцианатных групп с водой и доли основных реакций, приводящих к образованию пространственной сетки за счет уретанообразования.

Современные гидрофилизированные полиизоцианаты характеризуются как высокой функциональностью, так и низкой вязкостью и их использование дает возможность получить покрытия, к качеству которых предъявляются самые высокие требования.

Анализ литературных источников показал значительное продвижение в области создания новых низковязких полиизоцианатов и их использования при получении полиуретановых покрытий.

## **ВЛИЯНИЕ КАТАЛИЗАТОРОВ НА ОТВЕРЖДЕНИЕ ПОЛИЭФИР-БЕНЗОГУАНАМИНОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ**

**Н.П. Власова, Е.А. Индейкин**

Научный руководитель – Е.А. Индейкин, канд. хим. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет  
ЗАО "НПК ЯрЛИ"*

Насыщенные полиэфирные смолы, благодаря большому разнообразию исходных мономеров с различной функциональностью и реакционной способностью, широко применяются в качестве плёнообразующих лакокрасочных материалов для окраски рулонного металла на непрерывных линиях. На поверхности металла в процессе термического отверждения образование трехмерной пленки возможно только при использовании сшивающих агентов. В настоящее время в качестве сшивающего агента используется гексаметоксиметилмеламин. Для ускорения процесса отверждения таких композиций используются различные кислотные катализаторы (*n*-толуолсульфокислоты и динонилнафталинсульфоновые кислоты ионного и неионного блокирования). Использование бензогуанаминовых смол в качестве сшивающих агентов полиэфира мало изучено.

На основании определения содержания гель-фракции покрытий, отвержденных на алюминии, показано, что использование катализатора отверждения на основе *n*-толуолсульфокислоты и динонилнафталинсульфоновой кислоты в исследованных количествах отрицательно влияет на глубину отверждения полиэфирных композиций. Увеличение в составе композиции количества бензогуанаминовой смолы приводит к увеличению глубины отверждения.

Установлено, что у всех исследованных композиций твердость покрытий при использовании 0,6-2 % катализатора возрастает с увеличением содержания бензогуанаминовой смолы в композиции. Использование большего количества катализатора отверждения приводит к снижению твердости покрытия.

Как показали результаты термомеханических исследований кислотный катализатор как ионного, так и неионного блокирования преимущественно ускоряет самоконденсацию бензогуанаминовой смолы.



## ПОЛУЧЕНИЕ АЛКИДНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

**В.А. Болдинова**

Научный руководитель – А.Е. Терешко, канд. хим. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

В настоящее время все большее распространение получают водно-дисперсионные и водно-эмульсионные лакокрасочные материалы. Для получения водных полимерных дисперсий и эмульсий используются полимеры и олигомеры различной химической природы (акриловые, полиэфирные, уретановые и пр.). Одними из наиболее распространенных пленкообразователей являются алкидные олигомеры. На основе алкидов получают эластичные атмосферостойкие покрытия с высокой механической стойкостью.

Ввиду высокой вязкости алкидных олигомеров наиболее целесообразно для эмульгирования применять их растворы в органических растворителях. Это позволяет снизить вязкость системы и повысить эффективность эмульгирования. Для получения устойчивых алкидных эмульсий в водной среде применяются дифильные ПАВ различного типа (анионные, катионные, высокомолекулярные). В настоящее время наибольшее распространение получили катионактивные ПАВ.

Однако лакокрасочные материалы на основе алкидных эмульсий имеют недостаточную стабильность при транспортировке и морозостойкость.

В связи с этим проведенные исследования посвящены изучению процесса получения алкидных эмульсий с целью повышения их стабильности и морозостойкости.

Для получения алкидных эмульсий применялся раствор пентафталевой смолы в стироле и уайт-спирите (массовая доля нелетучих веществ 55 %) и органорастворимый катионактивный ПАВ, представляющий собой amino-амиды жирных кислот (аминное число не менее 30 мг HCl/г). Эмульсии получали диспергированием воды в смеси раствора алкида с ПАВ.

В ходе работы было установлено, что размер частиц дисперсной фазы и стабильность эмульсий зависят от pH водной фазы. Кроме того, показано, что при pH водной фазы более 5,7 при эмульгировании получают эмульсии I рода и при дальнейшем повышении значения pH стабильность эмульсий возрастает. А при снижении значения pH менее 5,7 получили стабильные эмульсии II рода. Это по всей вероятности связано с нейтрализацией амидных групп в более щелочной области pH и повышении растворимости ПАВ в водной фазе.

## **МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЧАСТИЦ ДИОКСИДА ТИТАНА И МИКРОКАЛЬЦИТА В СТРУЙНОМ РЕАКТОРЕ**

**А.Ю. Воробьева, Ю.М. Горовой, А.А. Ильин**

Научный руководитель – А.А. Ильин, д-р хим. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

В настоящее время при производстве пигментов, в том числе диоксида титана, остро стоит проблема снижения их себестоимости. При этом эксплуатационные свойства должны оставаться на высоком уровне. Решение этой проблемы может быть достигнуто путем создания кернового пигмента, ядро которого состоит из дешевого наполнителя, а оболочка – из частиц диоксида титана. Также актуальна в настоящее время проблема снижение маслосъемности и водосъемности широко используемых в лакокрасочной промышленности наполнителей, например микрокальцита. Снижение данных показателей позволит в большей степени вводить их в полимерные наполненные материалы.

Настоящая работа посвящена получению белого смесового пигмента на основе диоксида титана и талька посредством обработки механической смеси в струйном реакторе; а также модификации поверхности микрокальцита с целью снижения водосъемности и маслосъемности частиц.

Для решения поставленных проблем использовали установку струйной обработки твердых порошкообразных тел. Частицы диоксида титана (марки R-706) и талька (Митал 07-96 или Финнталь М-15) захватывались струей воздуха, исходящей из сопла струйного реактора со сверхзвуковой скоростью. В этой воздушной струе частицы подвергались многократному воздействию ударных волн воздуха, вследствие чего образовывался однородный белый смесовой пигмент.

Модификацию поверхности микрокальцитов (марок Unicarb-5, Unicarb-2 и AGS-10) проводили эквимолекулярной смесью диоксида кремния и гидроксида алюминия.

Установлено, что обработка смеси диоксида титана и талька механическим воздействием ударных волн несущего газа приводит к улучшению укрывистости и разбеливающей способности. Определены наилучшие условия процесса модификации в струйном реакторе (температура и давление воздушной струи).

Показано, что модификация поверхности микрокальцитов эквимолекулярной смесью диоксида кремния и гидроксида алюминия (до 3 % мас.) приводит к снижению маслосъемности и водосъемности частиц наполнителя.

## **ПОЛИКАРБОКСИЛАТНЫЕ ДОБАВКИ ДЛЯ БЕТОНА**

**Н.А. Захарова, Е.А. Индейкин**

Научный руководитель – Е.А. Индейкин, канд. хим. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Самоуплотняющийся бетон представляет собой материал, который способен уплотняться под действием собственного веса, полностью заполняя любую форму. Перспективным является его использование для производства монолитных высокопрочных бесшовных полов, реставрации и укрепления конструкций.

В течение многих лет предпринимались различные попытки улучшения текучести цементных смесей. Особо высокопрочные бетоны, модифицированные добавками-суперпластификаторами, начали применять в конце 60-х – начале 70-х годов прошлого века.

Добавление суперпластификаторов в бетон заметно изменяет реологические свойства, приводя к резкому снижению вязкости цементных смесей. Кроме того, при использовании суперпластификаторов возможно значительно снизить более чем на 20 %, количество затворяющей воды, сохраняя при этом высокую текучесть.

Для исследований использовались как синтезированные нами, так и серийные зарубежные и отечественные добавки.

Нами были синтезированы водорастворимые поверхностно-активные олигомеры на основе полиэтиленгликолевого эфира глицидилметакрилата и метакриловой кислоты в растворе в изопропиловом спирте с массовым содержанием мономеров 30 % в присутствии инициатора диниза.

Были проведены исследования по нейтрализации полученного поликарбоксилата. Установлено, что степень нейтрализации оказывает значительное влияние на реологические свойства системы цемент – вода. По полученным результатам можно сделать вывод, что оптимальный эффект, достигается при нейтрализации 100 %. При превышении этого значения уменьшается прочность и подвижность, при недостатке – прочность.

Исследована поверхностная активность ряда серийных и синтезированных нами добавок. Как показали полученные изотермы поверхностного натяжения, значительного его снижения не наблюдается даже при высоких концентрациях добавок.

## ВЛИЯНИЕ МАТИРОВАНИЯ ЭПОКСИДНО-ПОЛИЭФИРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИХ РАСПЛАВОВ

Д.С. Котова<sup>1,2</sup>, Е.А. Индейкин<sup>1</sup>

Научный руководитель — Е.А. Индейкин, канд. хим. наук, профессор

<sup>1</sup>Ярославский государственный технический университет

<sup>2</sup>Ярославский завод порошковых красок

В составе гибридных порошковых красок полимерным компонентом является смесь эпоксидного и полиэфирного пленкообразователей, матирующий агент выполняет функцию кислотного отвердителя по отношению к эпоксидному олигомеру. Скорость взаимодействия карбоксильных групп сшивающего агента с эпоксидными выше, чем этих же групп полиэфира, ввиду каталитического действия имидазольного цикла, имеющего основной характер и связанного в виде соли с пиромеллитовой кислотой. Кроме этого, взаимодействие низкомолекулярной кислоты с олигомером выше из-за большей подвижности, чем звенья высокомолекулярного соединения, характеризующегося определенным кислотным числом. Матирование реализуется за счет опережающего образования сшитого матирующим агентом эпоксидного полимера, несовместимого с эпоксидно-полиэфирным, образование которого происходит позднее.

Одним из факторов, определяющих эксплуатационные свойства порошковых покрытий, является растекаемость композиций. Для оценки скорости растекания порошковых красок использовалась методика, основанная на измерении изменения линейного размера таблетки порошковой краски на обогреваемой поверхности. Было исследовано влияние отдельных пигментов и наполнителей, а также их объемного содержания на растекаемость модельных эпоксидно-полиэфирных композиций в матовом и глянцево-м исполнении. По кривым растекания были рассчитаны скорости растекания для гляцевых и матовых композиций. Учитывая, что на исследуемом участке объемных содержаний пигментов или наполнителей зависимости скоростей растекания от содержаний близки к линейным, можно вычислить коэффициенты замедления растекания или снижения текучести — относительное снижение этих величин при увеличении наполнения на единицу. Из результатов следует, что введение наполнителей меньше влияет на текучесть матовых композиций, чем гляцевых. Это связано с тем, что на текучесть композиций для матовых покрытий оказывает влияние в большой степени гетерогенность, вызванная образованием несовместимого с полиэфиром эпоксидного полимера — продукта взаимодействия эпоксидного олигомера с матирующим сшивающим агентом.

**СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ  
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ  
НА ОСНОВЕ ПОИАНИЛИНА И ВОДНЫХ  
АКРИЛОВЫХ ДИСПЕРСИЙ**

**Н.В. Кочкина, В.Г. Курбатов**

Научный руководитель – В.Г. Курбатов, канд. хим. наук  
*Ярославский государственный технический университет*

Известно, что полианилин обладает противокоррозионным действием за счет окислительно-восстановительных свойств. Также установлено, что полианилин способствует пассивации поверхности стали, в результате чего образуется пассивирующий оксидный слой, состоящий из  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , покрытый с внешней стороны  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Выбор акриловых водных дисперсий в качестве компонента композиционных материалов связан, в первую очередь, с их экологичностью, а также с широким ассортиментом (мет)акриловых мономеров для синтеза данных дисперсий.

Композиционные (гибридные) материалы являются новой областью в технологии лакокрасочных материалов и представляют собой частицы типа «ядро-оболочка». Синтез таких материалов заключается в получении полимерной оболочки на твердых носителях. Таким образом, синтез и исследование свойств композиционных материалов на основе полиакрилатов и полианилина, совмещающих в себе такие свойства, как высокая экологичность и противокоррозионная эффективность, является актуальной задачей.

Были синтезированы водно-дисперсионные композиционные материалы с ядром из полианилина и оболочкой из полиакрилатов и обратные дисперсии с оболочкой из полианилина при различном содержании полианилина.

Установлено, что полианилин, являющийся ядром композиционных материалов, выступает центром полимеризации и приводит к образованию более однородных по размеру частиц. Показано, что с увеличением содержания полианилина в композиционных материалах, нанесенных на стальную подложку, наблюдается снижение скорости коррозии стали. Установлено, что наличие полианилина в составе водных дисперсий не оказывает влияния на условия формирования покрытий, к примеру, минимальная температура пленкообразования композиционных материалов с ядром из полианилина при различном содержании последнего не меняется.

## **СТАБИЛИЗАЦИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ДИСПЕРСИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИАНИЛИНА ПОЛИКАРБОКСИЛАТНЫМИ ПАВ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ СВОЙСТВ**

**Н.В. Кочкина, Н.А. Захарова, В.Г. Курбатов**

Научный руководитель – В.Г. Курбатов, канд. хим. наук, науч. сотр.

*Ярославский государственный технический университет*

Стабилизация водных дисперсий полианилина и композиционных материалов на его основе представляет собой сложную задачу, требующую использования поверхностно-активных веществ (ПАВ), содержащих в своем составе ионогенный и неионогенный фрагменты, либо же использования смеси двух и более ПАВ. Одним из таких ПАВ является сополимер акриловой кислоты и сомономера, содержащего полиэтиленоксидный фрагмент. В данной работе было необходимо исследовать влияние данного ПАВ на синтез и комплекс свойств композитных дисперсий на основе полианилина.

В качестве объектов исследования использовались анилин, поликарбоксилатный ПАВ, акриловые дисперсии с кислотным числом 44 мгКОН/г, средним размером 40 нм и кислотным числом 40 мгКОН/г, гидроксильным числом 20 мгКОН/г и средним размером 80 нм. Содержание анилина в реакционной массе варьировалось от 0 до 20 % мас.

Идентификация полученных продуктов проводилась с помощью ИК-спектроскопии. Реологические свойства композитных дисперсий характеризовались с помощью ротационной вискозиметрии. Дисперсионный анализ проводился с помощью метода малоуглового рассеяния лазерного излучения. Стабильность полученных дисперсий исследовалась спектрофотометрическим методом. Противокоррозионные свойства изучались с помощью спектроскопии электрохимического импеданса и потенциодинамического метода.

Изучено влияние поликарбоксилатного ПАВ процесс синтеза и стабильность получаемых композитных дисперсий. Показано, что в результате синтеза образуется композиционный материал структуры ядро/оболочка, а не смесь гополимеров. Показано влияние содержания анилина на размер частиц композитной дисперсии и их распределение по размерам. Изучена реология композиционных дисперсий на основе полианилина. Определена минимальная температура пленкообразования полученных композитных дисперсий. Исследованы противокоррозионные свойства покрытий на основе полученных композиционных дисперсий.

## **ПОЛУЧЕНИЕ ПРИВИТЫХ СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ ПОИАНИЛИНА**

**А.Ю. Летуновская, В.Г. Курбатов**

Научный руководитель – В.Г. Курбатов, канд. хим. наук, науч. сотр.

*Ярославский государственный технический университет*

Одним из способов получения покрытий из полианилина (ПАНи) это формирование их из водных дисперсий. Однако стабилизация водных дисперсий ПАНи является достаточно сложной задачей требующей применения поверхностно-активных веществ, содержащих в своем составе как анионактивный фрагмент, так и неионогенный. Такие ПАВ, как правило, дороги и сложны в производстве. Актуальной задачей является поиск других способов стабилизации дисперсий ПАНи. Ввиду того, что поверхность ПАНи обладает высокой реакционной способностью, одним из решений данной проблемы может быть прививка на его поверхность акриловой кислоты, которая будет являться стабилизатором и одновременно допантом.

Синтез привитого (со)полимера проводился полимеризацией в растворе. Температура синтеза варьировалась от 70 до 90°. Содержание акриловой кислоты в реакционной массе изменялось от 0 до 10 % мас.

Идентификация полученных продуктов осуществлялась с помощью ИК-спектроскопии. Содержание привитого (со)полимера определялся гравиметрически. Плотность полученных продуктов определялась пикнометрически. Удельная электрическая проводимость измерялась с помощью двухконтактного метода. Гранулометрический состав полученных полимеров контролировался с помощью динамического светорассеяния. Стабильность полученных дисперсий определялась спектрофотометрическим методом.

Показано влияние температуры и содержания акриловой кислоты на выход привитого (со)полимера в процессе синтеза. Оценено влияние температуры и содержания акриловой кислоты на плотность полученных продуктов. Установлено, что с увеличением содержания акриловой кислоты в реакционной массе растет удельная электрическая проводимость (со)полимера. Исследовано влияние условий синтеза (со)полимеров на их гранулометрический состав. Показано, что изменение содержания акриловой кислоты в реакционной массе существенно влияет на стабильность, полученных дисперсий (со)полимера на основе ПАНи.

## **ВЛИЯНИЕ РАСТВОРИТЕЛЕЙ НА ИЗМЕНЕНИЕ ЦВЕТА ФТАЛОЦИАНИНОВЫХ ПИГМЕНТОВ**

**М.А. Ратникова, Е.А. Индейкин**

Научный руководитель – Е.А. Индейкин, канд. хим. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Подавляющая часть производимых фталоцианинов в виде комплексов фталоцианинов с переходными металлами используется в качестве пигментов. Наибольшее промышленное значение и, соответственно, долю в производстве, имеют медные комплексы. Все фталоциановые пигменты окрашены только в синий и зеленый цвет, включая и промежуточные оттенки. Эти пигменты известны под названием фталоцианиновый голубой, зеленый и зеленовато-голубой.

Известно, что в среде некоторых органических растворителей фталоцианиновые пигменты могут изменять свой цветовой тон. Нами было исследовано влияние органических растворителей различных классов и воды на изменение оптических свойств голубых и зеленых фталоцианиновых пигментов. На основании изменения спектров пропускания дисперсий этих пигментов в исследуемых средах в течение 7 суток было установлено, что для голубых фталоцианинов в ксилоле наблюдается гиперхромный эффект, связанный с пептизацией частиц, в бутилацетате - батохромный эффект, вызванный по всей вероятности перекристаллизацией. У зеленых пигментов изменения в спектрах были минимальны.

С целью установления влияния органического растворителя, используемого в реальных пленкообразующих системах для пигментированных материалов, содержащих голубой фталоцианиновый пигмент, было исследовано изменение цветовых характеристик модельных систем, изготовленных с использованием индивидуальных растворителей и фталоцианиновых пигментов различных кристаллических модификаций с различным содержанием хлора и меди. Показано, что максимальные изменения цветового тона материалов, наполненных голубым фталоцианиновым пигментом в композиции, содержащей диоксид титана, наблюдаются для ксилола.

Наибольшее влияние тип органического растворителя оказывает на чистоту цвета наполненного материала. Для фталоцианина  $\alpha$ -модификации более значительное изменение чистоты цвета наблюдается при более высоком содержании меди в составе пигмента. Наиболее стабильным пигментом по отношению к органическому растворителю, используемому для получения раствора пленкообразователя, является фталоцианин меди  $\epsilon$ -модификации, не содержащий хлора.



## СИНТЕЗ ФОСФОРСОДЕРЖАЩИХ ПИГМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОКСИЛАПАТИТА

**В.П. Анкудович, И.В. Пищ**

Научный руководитель – И.В. Пищ, д-р техн. наук, профессор  
*Белорусский государственный технологический университет*

В последние годы все большее внимание при производстве пигментов уделяется фосфорсодержащим компонентам, которые позволяют снизить температуру синтеза и расширить их палитру. Область применения таких пигментов – керамическая промышленность. В качестве сырьевых компонентов использовали продукты переработки костей животных. В результате термической обработки при 800–1000 °С завершаются химические превращения в исходном материале и образуется гидроксилапатит  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ , что и подтверждается рентгенофазовым анализом.

Гидроксилапатит после измельчения пропитывали горячими растворами солей кобальта, никеля с концентрацией от 10 до 36 %. Полученные суспензии подвергали сушке при температуре (150±10) °С. Сухие окрашенные порошки обжигали при температуре (1050–1100) °С с выдержкой 1 ч.

По спектральным характеристикам синтезируемых пигментов установлена оптимальная температура синтеза и определены хромофорные свойства. Рентгенофазовым анализом установлено, что цветонесущие фазы представлены  $\text{Co}_2\text{P}_2\text{O}_7$  и  $\text{Ni}_2(\text{PO}_4)_3$ , а также комплексными ионами-хромофорами  $[\text{CoO}_4]$ ,  $[\text{NiO}_4]$ ,  $[\text{CoO}_6]$ . Доминирующая длина волны для кобальтсодержащих пигментов – 480–520 нм, никельсодержащих – 560–570 нм. Полученные пигменты были апробированы во фриттованной глазури и мастике (концентрация – 2–2,7 %). В качестве глазури для покрытия использовалась фриттованная глазурь ОАО «Керамин». Для приготовления мастики использовали флюс и полигликоль. Температура обжига в обоих случаях составляла 1050 °С. Цветовые характеристики полученных покрытий на керамической плитке для облицовки стен приведены в табл. 1.

**Таблица 1. Цветовые характеристики покрытий**

Ион-хромофор	Визуальный цвет образца	Координаты цвета		
		<i>l</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
$\text{Co}^{+2}$ (глазурь)	сине-фиолетовый	50,84	7,61	–30,37
$\text{Ni}^{+2}$ (глазурь)	оливковый	60,13	–0,24	21,37
$\text{Co}^{+2}$ (мастика)	сине-фиолетовый	69,84	2,4	–17,75
$\text{Ni}^{+2}$ (мастика)	лазурный	83,94	–3,15	9,43

Таким образом, установлена возможность применения керамических фосфорсодержащих пигментов для декорирования плиток.

## **РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИЙ ОЛИГОИЗОЦИАНАТОВ**

**В.В. Милославская, Е.Б. Потёмина, Е.А. Индейкин**

Научный руководитель - Е.А. Индейкин, канд. хим. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет  
ЗАО НПК ЯрЛИ*

Полиуретановые покрытия на основе водных дисперсий гидроксилсодержащих полимеров используются в различных областях современной промышленности и по многим показателям успешно конкурируют с органорастворимыми лакокрасочными материалами. Одним из вопросов, который определяет промышленное применение, является способность данных материалов полноценно заменить органорастворимые аналоги, в том числе при окраске крупногабаритных металлических конструкций, железнодорожного транспорта.

Одной из возможностей получения оптимальных защитных свойств на уровне органорастворимых ЛКМ является применение полиизоцианатов, которые были разработаны для систем с использованием органических растворителей. Для эмульгирования таких полиизоцианатов в водной среде необходимо применение диспергирующего оборудования с большими скоростями сдвига и соблюдение определенных реологических условий процесса.

Одним из вариантов введения гидрофобных полиизоцианатов в водную систему является их совмещение с полиизоцианатами, гидрофилизированными в результате модификации. Для установления их необходимого соотношения проведены реологические исследования смесей ионномодифицированного гидрофильного высоковязкого олигоизоцианата и гидрофобного низковязкого олигоизоцианата.

Установлено влияние концентрации гидрофобного олигоизоцианата в смеси с гидрофильным на введение их композиции в водную дисперсию гидроксилсодержащего полиакрилата при низких скоростях сдвига. Определено соотношение гидрофильного и гидрофобного полиизоцианатов для получения необходимых эксплуатационных свойств полиуретанового покрытия.

## **НЕФРИТТОВАННЫЕ ГЛАЗУРИ ДЛЯ ФАРФОРОВЫХ ИЗОЛЯТОРОВ**

**А.А. Надудик, И.А. Левицкий**

Научный руководитель – И. А. Левицкий, д-р техн. наук, профессор  
*Белорусский государственный технологический университет*

Целью исследований является разработка составов нефриттованных прозрачных глазурей для декорирования высоковольтных изоляторов.

В задачу исследований входило изучение возможности получения глазурных покрытий, отвечающих требованиям нормативно-технической документации и определение областей оптимальных составов; установление основных закономерностей изменения физико-химических свойств и структуры глазурей от их состава; исследование структурных особенностей разработанных глазурей и выявление их взаимосвязи со свойствами.

В результате проведенных исследований в системе сырьевых материалов, включающих пегматит – каолин – кварцевый песок – доломит – фарфоровый череп осуществлен синтез нефриттованных глазурей для высоковольтных изоляторов.

Приготовление глазурей производилось путем совместного мокрого помола всех компонентов в шаровой мельнице. Готовый глазурный шликер наносили на высушенные до постоянной массы образцы электроизоляционного фарфора в виде плиток размером (50×30) мм методом полива. Сушку образцов с нанесенной глазурью производили в сушильном шкафу при температуре (100±5) °С. Далее образцы обжигали в электрической печи фирмы Nabertherm (ФРГ) при температуре 1280–1300 °С с выдержкой при максимальной температуре 1 ч.

Полученные покрытия характеризовались блестящей и матовой поверхностью. Исследования физико-химических свойств проводились для синтезированных глазурей блестящей фактуры. Исследованиями установлено, что ТКЛР при температуре 600 °С находится в интервале (8,38–8,41)·10<sup>-6</sup> К<sup>-1</sup>, блеск покрытий составляет – 21-75 %. Удельное объемное сопротивление при постоянном токе составляет (2,2-2,7)·10<sup>14</sup> Ом·см при температуре 20 °С.

Исследования структуры синтезированных глазурей при помощи электронной микроскопии позволили установить, что основной кристаллической фазой, обуславливающей матовость фактуры поверхности глазури, является кристобалит. Блестящие глазурные покрытия являются рентгеноаморфными.

Разработанные нефриттованные глазури удовлетворяют требованиям, предъявляемым к ним действующими стандартами.

## **ПОЛУФРИТТОВАННЫЕ ЦВЕТНЫЕ ГЛАЗУРИ НА ОСНОВЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ШЛАМОВ**

**А.И. Олехнович, И.А. Левицкий**

Научный руководитель – И.А. Левицкий, д-р техн. наук, профессор  
*Белорусский государственный технологический университет*

В настоящее время актуальным является использование шламов гальванического производства, содержащих значительное количество оксидов железа.

При разработке составов глазурной композиции использовались следующие сырьевые компоненты: шлам гальванического производства, производственные фритты 131/3 и 141/А в соотношении 1:1, доломит, кварцевый песок, глинозем, огнеупорная глина, цинковые белила, колеманит.

Применяемые гальванические шламы имеют следующий усредненный химический состав, % мас.:  $\text{SiO}_2$  – 0,47;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 0,21;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 58,524;  $\text{CaO}$  – 3,73;  $\text{MgO}$  – 2,22;  $\text{K}_2\text{O}$  – 0,02;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 2,48;  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  – 5,22;  $\text{NiO}$  – 0,04;  $\text{CuO}$  – 0,08;  $\text{ZnO}$  – 9,44;  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 3,43; ппп – 14,14.

Глазурный шликер готовился совместным мокрым помолом компонентов в шаровой мельнице до остатка на сите № 0056 в количестве 0,1–0,3 %. Влажность шликера составляла 45–50 %. Глазурь наносилась на предварительно высушенные образцы с помощью фильеры и обжигалась при температуре  $(1160 \pm 10)^\circ\text{C}$  в промышленной газопламенной печи типа FMS-2500 в течение  $(50 \pm 5)$  мин.

Получены качественные покрытия в широком интервале содержания гальванических шламов – от 15 до 21 %. Синтезированные глазурные покрытия имели цвет от рыже- до темно-коричневого и характеризовались бархатистой матовой фактурой. Блеск синтезированных глазурных покрытий находился в диапазоне 36–66 %, твердость по шкале Мооса – 7. Микротвердость в зависимости от состава глазурей составляет 6703–8468 МПа. Термическая стойкость –  $125^\circ\text{C}$ . ТКЛР глазурного покрытия находится в интервале  $(67,31\text{--}72,63) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ .

По данным рентгенофазового анализа установлено наличие следующих кристаллических фаз: анортита, гематита, магнетита, волластонита и маггемита. Микроструктура глазурных покрытий представлена многочисленными, плотно прилегающими друг к другу, кристаллическими образованиями с размером кристаллов от 3 до 10 мкм.

В результате исследования доказана возможность использования гальванических шламов для синтеза цветных глазурей, используемых при декорировании плиток для полов, что позволяет исключить из составов импортируемые керамические пигменты.

## **ПОЛУФРИТТОВАННЫЕ ГЛАЗУРИ ДЛЯ ДЕКОРИРОВАНИЯ ПЛИТОК ДЛЯ ПОЛОВ**

**А.Н. Шиманская**

Научный руководитель – И.А. Левицкий, д-р техн. наук, профессор  
*Белорусский государственный технологический университет*

Целью работы является разработка составов и технологии получения цветных износостойких полуфриттованных покрытий для декорирования плиток для полов с использованием в качестве окрашивающих компонентов осадков сточных вод гальванического производства.

Сырьевая композиция для получения цветных полуфриттованных глазурей включала: осадок ПО «Минский тракторный завод» (МТЗ, Республика Беларусь), доломит, специально синтезированную на кафедре технологии стекла и керамики фритту ОРШ, технический глинозем, огнеупорную глину «Гранитик-Веско», кварцевый песок, белила цинковые и каолин глуховецкий.

Область качественных цветных покрытий ограничивается следующим содержанием переменных составляющих, % мас.: 15-19 осадка МТЗ, 19-25 фритты, 16-22 доломита. С увеличением количества отходов МТЗ фактура глазури становится полуматовой и матовой за счет роста количества кристаллических образований. Проведенные исследования физико-химических свойств синтезированных глазурей показали, что микротвердость составляет 5400–9150 МПа, температурный коэффициент линейного расширения находится в интервале  $(58,3-72,6) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ , блеск – 13-71 %. Все глазурные покрытия оказались химически стойкими к раствору № 3 по ГОСТ 27180. Термическая стойкость всех образцов составляет 125 °С. Степень износостойкости составляет 3.

Дифференциальная сканирующая калориметрия показала, что при увеличении содержания гальванического отхода эндотермический эффект, связанный с плавлением составляющих шихты, смещается в область более низких температур, что связано с образованием эвтектических смесей. Фазовый состав покрытий обеих системы представлен анортитом, корундом, магнетитом, гематитом, кварцем, ганитом. Количество окрашивающих фаз закономерно увеличивается с ростом содержания в глазурном покрытии осадка МТЗ, этот факт подтверждается данными, полученными методом электронной микроскопии.

Исследования показали возможность использования осадка сточных вод гальванического производства МТЗ для получения цветных глазурных покрытий. Это позволяет исключить из состава дорогостоящие жаростойкие пигменты, что обеспечит снижение себестоимости продукции на 20-25 %.

## **РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ СТЕКОЛ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СВЕТОПРЕОБРАЗУЮЩИХ ПОКРЫТИЙ НА ПОДЛОЖКАХ ИЗ ЛИСТОВОГО СТЕКЛА ДЛЯ СВЕТОДИОДНЫХ ОСВЕТИТЕЛЕЙ**

**А.А. Курильчик**

Научный руководитель – Н.М. Бобкова, д-р техн. наук, профессор  
*Белорусский государственный технологический университет*

Проблемы создания высокоэкономичных источников общего освещения на основе светодиодов потребовали создания новых композиционных светопреобразователей, включающих стеклянную подложку из листового стекла, на поверхность которой нанесено светопреобразующее покрытие. В состав покрытия входит легкоплавкое стекло с ТКЛР, близким к ТКЛР подложки, и наноразмерный наполнитель – люминофор – итрий-алюминиевый гранат, равномерно распределенный в объеме покрытия. Для получения светопреобразующих покрытий требуются легкоплавкие стекла, отвечающие следующим требованиям:

- температура перехода в расплавленное состояние – не выше 650 °С;
- показатель преломления легкоплавкого стекла 1,6-1,7;
- температурный коэффициент линейного расширения  $(80-100) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ ;
- отсутствие признаков кристаллизации в интервале 400-650 °С.

Для решения поставленной задачи в качестве основы для исследования выбрана висмутборатная система, в которой температуры плавления соединений и эвтектик не превышает 700 °С. Для синтеза стекол с необходимыми свойствами проектированы составы стекол на основе  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--B}_2\text{O}_3$  системы с дополнительным введением  $\text{ZnO}$ ,  $\text{BaO}$  и  $\text{K}_2\text{O}$ . Содержание  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  не превышает 40 % мас. Синтез стекол проводили в фарфоровых тиглях емкостью 100 мл в электрической печи при температуре 900-1100 °С с выдержкой при максимальной температуре 2 ч.

Изучены основные физико-химические характеристики стекол. Установлено, что все стекла характеризуются устойчивым стеклообразным состоянием в интервале температур 450-900 °С. Температура полной растекаемости на керамической лодочке стекол лежит в интервале 580-680 °С. ТКЛР синтезированных стекол изменяется в пределах  $(90,0-110,0) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ . Показатель преломления –1,7-1,8. Химическая устойчивость стекол соответствует 3 гидролитическому классу.

На основе оптимальных составов стекол и введении 20 % люминофора иттрий-алюминиевого граната ( $\text{YAG:Ce}^{3+}$ ) получены светопреобразующие покрытия на подложках из листового стекла при температурах вжигания 600–630 °С. Разработанные покрытия испытаны в качестве элемента макета светодиодного светильника. Излучение соответствует квазибелому свету.

## **СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ПИГМЕНТОВ НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЙ ЖЕЛЕЗА И ВИСМУТА**

**О.В. Опимах, И.И. Курило, И.М. Жарский**

Научный руководитель – И.М. Жарский, канд. хим. наук, профессор  
*Белорусский государственный технологический университет*

В настоящее время ортованадаты широко используются в химической, стекольной отраслях промышленности, при производстве строительных материалов. Ортованадат висмута является альтернативой желтых токсичных пигментов на основе соединений свинца и хрома. Для снижения себестоимости и получения более широкой цветовой гаммы пигментов целесообразно в составе ортованадата висмута провести полную или частичную замену висмута или ванадия на более дешевые компоненты.

Целью работы было изучение возможности использования сольвотермического метода для синтеза смешанных ортованадатов висмута и железа, пригодных для использования в качестве красящих пигментов, а также изучение ингибирующих свойств полученных образцов.

В качестве прекурсоров использовали водные растворы ванадата натрия, сульфата железа (III) и нитрата висмута. Установлено, что при увеличении содержания железа окраска образцов изменялась от желтого до темно-коричневого. Согласно данным сканирующей электронной микроскопии образцы смешанных ванадатов железа и висмута представляли собой порошки с размером частиц до 5 мкм. Как правило, использование в лакокрасочной промышленности пигментов с такими малыми размерами частиц позволяет существенно улучшить показатели готовой продукции, такие как интенсивность, блеск, укрывистость.

Маслоемкость полученных образцов сравнима с маслоемкостью высокоосновных хроматов цинка (30 г/100 г пигмента).

Экспрессную оценку ингибирующих свойств синтезированного пигмента проводили путем снятия потенциостатических кривых на стали марки 08кп в 3 %-ном растворе NaCl. Было установлено, что при увеличении степени замещения висмута на железо в составе синтезированных образцов происходит усиление их ингибирующих свойств, при этом токи коррозии монотонно уменьшаются и в суспензиях пигментов, полученных при полном замещении висмута на железо, достигают значений  $0,020 \text{ мА/см}^2$ , что в 17 раз ниже, чем в растворе NaCl.

Таким образом, проведенные исследования позволили предложить методику сольвотермического синтеза смешанных ортованадатов висмута и железа. В результате получены образцы, которые по своим свойствам удовлетворяют требованиям, предъявляемым к пигментам в лакокрасочной промышленности.

## НАНЕСЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПОВЕРХНОСТЬ МЕТОДОМ КАТОФОРЕЗА

**Н.С. Трофимов, К.М. Голиков, О.Н. Кораблева**

Научный руководитель – О.Н. Кораблева, канд. хим. наук

*Ярославский государственный технический университет*

Для нанесения пигментированных лакокрасочных материалов применяются различные методы: пневматическое распыление с нагревом и без нагрева, окунание и облив с последующей выдержкой в парах растворителей, распыление в электрическом поле, безвоздушное распыление без нагрева и с нагревом, электроосаждение и др.

Преимуществами электроосаждения по сравнению с другими методами окраски являются: равномерное покрытие по толщине, хорошая защита от коррозии острых углов, прокраска труднодоступных мест и полых тел, низкие потери лакокрасочного материала, отсутствие пожаровзрывоопасных растворителей и т. д.

При электрофоретическом методе нанесения покрытий, как правило, одним из электродов является покрываемая деталь, а другим емкость, заполняемая суспензией, дисперсная фаза которой наносится на поверхность детали. В зависимости от того, каким электродом является покрываемая деталь, различают анофорез и катодфорез. В общем случае процесс электрофоретического нанесения покрытий состоит из нескольких этапов: направленного перемещения заряженных частиц, коагуляции их в приэлектродном пространстве и электродных химических реакций.

Преимущество катодного электроосаждения перед анодным заключается в отсутствии электрохимического растворения металла и окисления пленкообразователя.

В настоящее время окраска кузовных деталей автомобиля водоразбавляемыми пигментированными лакокрасочными материалами осуществляется преимущественно с использованием катодфореза. Нанесение катодфорезного покрытия значительно увеличивает противокоррозионные свойства многослойного покрытия.

По литературным и патентным данным в данной работе проведен сравнительный анализ различных методов нанесения полимерных лакокрасочных материалов, отмечены преимущества использования метода катодфореза, рассмотрены рабочие условия проведения процесса.



Рис. 1. Многослойное лакокрасочное покрытие



## ЭЛЕКТРОФОРЕЗ И ЭЛЕКТРООСМОС В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**Ю.В. Подвальная, О.Н. Кораблева**

Научный руководитель – О.Н. Кораблева, канд. хим. наук

*Ярославский государственный технический университет*

Электрокинетические явления широко используются в науке и технике. Наибольшее их практическое применение связано с нанесением покрытий на различные поверхности электрофоретическим методом. Этот метод позволяет не только продлить срок службы изделия, но и получать равномерные покрытия одинаковой толщины, без подтеков, пузырей и прочих дефектов на деталях сложной конфигурации. В настоящее время широкое применение нашли автоматические линии грунтовки кузовов автомобилей электрофоретическим методом.

Окраска изделия методом электроосаждения производится в ванне при наложении постоянного электрического тока. В зависимости от химического состава олигомера или полимера в наносимом на поверхность материала окрашиваемое изделие служит катодом или анодом. Противоположными по знаку электродами являются корпус ванны, либо специальные пластины. В постоянном электрическом поле частицы пигментов и наполнителей с адсорбированными молекулами или агрегатами пленкообразователей движутся к аноду или катоду и осаждаются на нем за счет потери заряда. Процесс электроосаждения на поверхности сопровождается электроосмосом. После промывки и отверждения на поверхности изделия формируется полимерное композиционное покрытие. Поверхность изделия в направлении максимальной плотности тока окрашивается в первую очередь. Состояние остальных мест изделия в течение процесса окраски относительно улучшается за счет перераспределения силовых линий поля из-за возрастающего изолирующего действия нанесенного слоя.

В результате работы:

- 1) проанализированы сферы использования электрофореза и электроосмоса в промышленности,
- 2) рассмотрено влияние водородного показателя раствора (рН) и температуры на процесс электроосаждения,
- 3) изучено современное оборудование для проведения процесса окраски кузова автомобиля методом электроосаждения.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ФРАГМЕНТОВ УЗЛОВ И ЦЕПЕЙ СШИТЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ**

**Н.А. Лежнина**

Научный руководитель – М.Е. Соловьев, д-р физ.-мат. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Для полимеров вязкоупругие свойства являются одной из наиболее фундаментальных механических характеристик, определяющей способность этих материалов к переработке. Вязкоупругие свойства сшитых эластомеров зависят от типа сшивающего агента и от концентрации поперечных связей. Одной из характеристик вязкоупругих свойств эластомеров является распределение времен релаксации. Экспериментальное исследование релаксационного спектра в коротковременном диапазоне затруднительно в связи с их малыми значениями – в диапазоне от нано- до пикосекунд. В работе показана возможность расчета коротких времен релаксации методом молекулярного моделирования (ланжевеновской динамики) для фрагментов цепи бутадиен-нитрильного каучука, регулярных гомополимеров изопрена и бутадиена с различными сшивками.

Исследование механической релаксации модели проводилось следующим образом: к концам цепи прикладывалась растягивающая сила и регистрировались зависимости расстояния между концами цепи от времени в ходе интегрирования уравнений движения. После растяжения до равновесного значения расстояния между концами цепи величина силы увеличивалась на некоторый инкремент. Растяжение проводилось вплоть до почти полного растяжения молекулы. Установлено, что зависимость времен релаксации от деформации цепи имеет нелинейный характер. Нелинейность возникает из-за уменьшения исключенного объема цепи при растяжении до небольших деформаций и уменьшения объема, доступного для конформаций цепи, при высокой деформации, отвечающей почти полностью вытянутой молекуле.

Исследование релаксационных свойств других типов эластомеров показало, что химическая структура звена оказывает существенное влияние на характер зависимостей параметров релаксационного спектра от деформации. Общим для всех эластомеров является уменьшение времени релаксации при больших растяжениях цепей. Также подвижность сшитых структур существенно зависит от типа поперечных связей.

Таким образом, зависимость релаксационных свойств от деформации качественно соответствует флуктуационным режимам при переходах равновесных состояний макромолекул, таких как клубок - глобула и глобула - вытянутая цепь.

**ВУЛКАНИЗАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И СТРУКТУРА  
СЕТКИ НЕНАПОЛНЕННЫХ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ  
НАТУРАЛЬНОГО И ЦИС-БУТАДИЕНОВОГО КАУЧУКОВ,  
МОДИФИЦИРОВАННЫХ БЛОКИРОВАННЫМ  
МЕРКАПТОСИЛАНОМ**

**А.Г. Капустина, М.А. Кокорева, Г.И. Кострыкина**

Научный руководитель – Г.И. Кострыкина, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

В настоящее время силаны общей формулы  $(\text{AlkO})_3\text{Si}(\text{Alk})\text{X}$  являются необходимыми добавками в резиновые смеси шинного назначения, содержащие кремнекислотные наполнители (ККН). В качестве функциональной группы X используют серу (ди- и тетра- сульфиды) меркаптогруппу, аминогруппу, эпокси и др. Наибольшую эффективность как агент сочетания ненасыщенных каучуков с ККН проявляет бис-(3-этоксисилилпропил)тетрасульфид (TESPT). Другим эффективным агентом сочетания является 3-меркаптопропилтриэтоксисилан (торговая марка VPSi-163). Однако как первый, так и второй в силу высокой активности функциональной группы X вызывает подвулканизацию смесей при высокотемпературном смешении. Для снижения излишней реакционной способности, в качестве альтернативы предлагают агенты сочетания, в которых атом водорода в меркаптогруппе замещен на остаток *n*-октановой кислоты (силан NXT). Учитывая высокую активность меркаптогруппы в реакциях с ненасыщенными каучуками, можно было ожидать определенного влияния силанов на изменение структуры каучуков при смешении и последующего влияния на вулканизационные характеристики и структуру сетки резин. Анализ изменения характеристической вязкости растворов каучуков НК и СКД свидетельствует о взаимодействии силанов с полимерами при механической обработке на вальцах, приводящего к снижению молярной массы (заметно большему в случае НК) и повышению полярности полимеров. Оценка вулканизационных характеристик показала однозначное изменение кинетических характеристик: индукционный период уменьшается, а скорость вулканизации повышается по мере увеличения количества введенного силана. На степень вулканизации ( $dM$ ) силан оказывает неоднозначное влияние. В резиновых смесях на основе СКД (вулканизирующая группа – сера, сульфенамид М, ДФГ) зависимость  $dM$  от содержания силана имеет экстремальный характер с минимумом при содержании до 2,2 мас. ч. Для композиций на основе НК (вулканизирующая группа – сера, сульфенамид М) величина  $dM$  монотонно повышается с ростом содержания силана. Аналогично изменяется и количество химических узлов в резинах, определенных методом золь-гель анализа.

**ОКИСЛЕНИЕ НАТУРАЛЬНОГО И ЦИС-БУТАДИЕНОВОГО  
КАУЧУКОВ, РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ И РЕЗИН,  
МОДИФИЦИРОВАННЫХ СИЛАНАМИ**

**Д.А. Абашев, А.Г. Капустина, Г.И. Кострыкина**

Научный руководитель – Г.И. Кострыкина, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Применение кремнекислотных наполнителей (ККН) в резинах протектора автомобильных шин позволяет, по сравнению с таким наполнителем, как технический углерод, значительно снизить потери на качение, увеличить износостойкость и сцепление с дорожным покрытием. Как правило, для обеспечения достаточной адгезии между неполярными каучуками и ККН используют различные межфазные модификаторы, среди которых наибольшее применение нашли серусодержащие силаны, например, бис-(3-триэтоксисилилпропил)тетрасульфид или бис-(3-триэтоксисилилпропил) дисульфид. Наряду с несомненными достоинствами эти силаны имеют ряд недостатков, накладывающих ограничения на их использование. Перспективными продуктами являются блокированные меркаптосиланы, например силан NXT (3-октаноилтио-1-пропилтриэтоксисилан). При смешении, вулканизации и эксплуатации готовых изделий полимер, связи на межфазной границе «полимер-силан-наполнитель» и связи в полимерной матрице подвергаются суммарному воздействию кислорода и теплового и механического полей. Проведена сравнительная оценка влияния строения силанов марок М-Ретайр и NXT на окисление натурального и цис-бутадиенового каучуков, а также резиновых смесей и резин на их основе. В качестве оценочных параметров были выбраны характеристическая вязкость растворов каучуков, вязко-упругие свойства полимеров, определенные на анализаторе RPA при различных частотах и вулканизационные характеристики ненаполненных резиновых смесей при 170 °С при длительности воздействия температуры превышающей оптимальное время вулканизации от пяти до десяти раз. Установлено, что термоокисление оказывает неоднозначное влияние на вязкость каучуков и определяется содержанием и типом силана. Зависимость характеристической вязкости от содержания силанов изменяется по экстремальной кривой с минимумом, положение которого определяется продолжительностью окисления. Окисление сопровождается снижением модуля накопления резиновых смесей при повышении модуля потерь. Установлено, что по константе скорости поствулканизации при 170 °С резины на основе НК и СКД, модифицированные силаном марки М-ретайр во всем диапазоне дозировок заметно уступают резинам, модифицированным силаном марки NXT.

**ВЛИЯНИЕ ТЕРМООКИСЛЕНИЯ КАУЧУКА СКИ-3  
НА РЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕГО СМЕСЕЙ  
С КРЕМНЕКИСЛОТНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ**

**Д.В. Овсянникова, Н.М. Крупкин, О.Ю. Соловьева**

Научный руководитель – О.Ю. Соловьева, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

Одним из возможных способов образования химических связей между неполярным углеводородным каучуком и кремнекислотным наполнителем (ККН) может быть взаимодействие кислородсодержащих групп в макромолекулах каучука, появляющихся при окислении последнего в процессе хранения и переработки, с силанольными группами на поверхности частиц наполнителя. С учетом этого представлялось целесообразным изучение вклада процессов окисления эластомера в формирование свойств композиций, содержащих ККН. В работе исследовано влияние термоокисления каучука СКИ-3, предварительно смешанного на вальцах с кремнекислотным наполнителем марки Росил-175, на реометрические характеристики резиновой смеси на их основе этих компонентов. Термоокисление проводили в разных временных режимах при температуре 120 и 140 °С в воздушном термостате. После этого смеси охлаждали до комнатной температуры и вводили вулканизирующую группу (сера, сульфенамид Ц).

Степень окисления каучука оценивали по изменению характеристической вязкости  $[\eta]$  раствора золь-фракции СКИ-3 и изменению относительной интенсивности полос поглощения в ИК-спектрах, соответствующих кислородсодержащим группам и двойным связям, по сравнению с исходным образцом. Реометрические характеристики определяли с помощью виброреометра *MDR-2000*.

Установлено, что с увеличением продолжительности и соответственно степени окисления возрастает минимальная вязкость  $M_L$  смесей. Значения максимальной вязкости  $M_H$  и  $dM$  (разница между  $M_H$  и  $M_L$ ), косвенно характеризующей степень сшивания, вначале возрастают, а при продолжительном окислении начинают снижаться, по всей вероятности, за счет преобладающего влияния деструкции каучука. Увеличение степени сшивания может быть следствием образования дополнительного количества связей как в фазе каучука, так и на границе раздела фаз. Антибатно изменению  $M_L$  и  $M_H$  меняется тангенс угла механических потерь при достижении  $M_L$  и  $M_H$ . Снижение  $\text{tg } \delta @ M_L$  и  $\text{tg } \delta @ M_H$  при незначительной степени окисления является следствием увеличения в системе доли химических связей. К аналогичным выводам приводят результаты определения вязко-упругих свойств смесей и резин на приборе *RPA 2000*.

Дан анализ влияния термоокисления каучука в присутствии ККН на кинетические параметры процесса вулканизации.

**СРАВНЕНИЕ МОДИФИЦИРУЮЩЕЙ АКТИВНОСТИ  
ХЛОРПРОИЗВОДНЫХ ДИКАРБОНОВЫХ КИСЛОТ  
В РЕЗИНОВЫХ СМЕСЯХ НА ОСНОВЕ БНК, СОДЕРЖАЩИХ  
КРЕМНЕКИСЛОТНЫЙ НАПОЛНИТЕЛЬ**

**Д.В. Овсянникова, М.А. Ершова, П.А. Агатьев**

Научный руководитель – О.Ю. Соловьева, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Известна эффективность использования галоидсодержащих соединений в качестве структурирующих агентов в эластомерных композициях на основе бутадиен-нитрильных каучуков (БНК), содержащих технический углерод в качестве наполнителя. Расширение при этом спектра связей, в том числе за счет образования высокоэнергетических узлов, позволяет получать вулканизаты, стойкие к действию различных агрессивных сред при повышенных температурах. С учетом этого представляло интерес исследование возможности регулирования с помощью соединений указанного класса свойств смесей и резин на основе БНК и наполнителей другого типа - высокодисперсных кремнекислот, которые, в силу своей химической природы, обладают серьезными недостатками, обуславливающими повышенную вязкость смесей, снижение скорости структурирования и степени сшивания в оптимуме вулканизации.

Целью работы явилась сравнение модифицирующей активности ряда хлорпроизводных терефталевой кислоты (ХТК) в смесях БНК – кремнекислотный наполнитель. С использованием квантово-химических методов и ИК-спектроскопии проведена оценка реакционной способности каждого из соединений по отношению к БНК и кремнекислоте. Путем определения содержания нерастворимой фракции в модельных смесях каучук – наполнитель и каучук – наполнитель – модификатор, а также путем оценки вязкоупругих свойств этих систем показана роль исследуемых ХТК в формировании сетки химических и физических связей в процессе изготовления и вулканизации композиций. Определено влияние ХТК на реометрические и вулканизационные характеристики смесей, в том числе на скорость роста вязкости в области индукционного периода, на вязкоупругие и деформационно-прочностные свойства резин.

На основании полученных данных сформулированы рекомендации по выбору модификатора.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПРОДУКТОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ ПОЛИОЛЕФИНОВ**

**О.С. Кузьменко, М.Г. Кульков, Е.В. Дахновская**

Научный руководитель – С.В. Нехорошев, канд. хим. наук  
*Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск*

Актуальность проблемы химического модифицирования полиолефинов обусловлена, во многом, поиском новейших путей рациональной утилизации и переработки полимерных отходов. Из них, как известно значительную часть составляют полиэтилен (ПЭ), изотактический и атактический полипропилен (ИПП и АПП соответственно).

Целью данной работы стало изучение состава и строения продуктов термической деструкции ПЭ, ИПП и АПП, проведенной при атмосферном давлении в инертной среде (азот) в течение 60-120 мин при температуре 420-440 °С, с последующим разделением на 3 фракции по температуре кипения. Химический состав фракций исследовали методами ИК-спектроскопии, газо-жидкостной хроматографии с масс-селективным и пламенно-ионизационным детектированием, а также ЯМР-спектроскопии.

Установлено, что продукты термической деструкции полиолефинов представляют собой сложную смесь углеводородов с числом атомов углерода в молекулах от 3 до 45 (ПЭ) и от 3 до 35 (ИПП и АПП). Фракционный состав ПЭ относительно однороден, тогда как большая часть продуктов деструкции ИПП и АПП состоит в основном из 6-18 атомов. Значительная часть деструктированных продуктов состоят из  $\alpha$ -алкенов и алканов нормального строения с примесью разветвленных и циклических предельных и непредельных углеводородов. Алканы и алкены представлены всеми линейными гомологами, в структуре первых содержится до 45 атомов углерода, вторых - не более 25 с кратной связью преимущественно, в  $\alpha$ -положении. Продукты фракционирования ИПП и АПП имеют примеси циклоалканов и диенов, но отличаются количественным углеводородным составом.

Таким образом, при термической деструкции вышеприведенных полиолефинов в указанных условиях образуется значительное количество  $\alpha$ -алкенов и алканов. В последующем эти продукты могут быть использованы в качестве сырья для осуществления различных видов органического синтеза. Особый интерес вызывает термическая деструкция ИПП, суммарный продукт которой содержит относительно большое количество диметилгептена (10 % от массы полимера).

## ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРЕТНЫХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИЙ ПОЛИПРОПИЛЕНА С НАПОЛНИТЕЛЯМИ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ

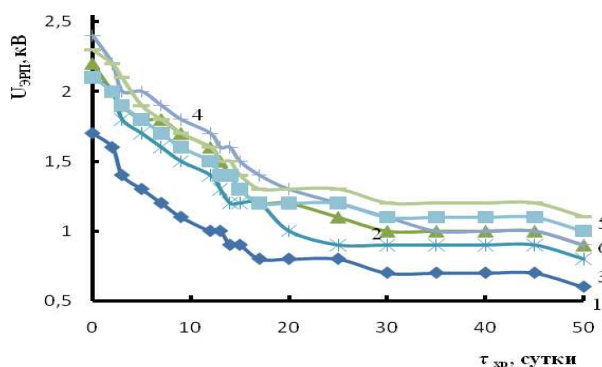
**И.А. Каримов, М.Ф. Галиханов**

Научный руководитель - М.Ф. Галиханов, д-р техн. наук, профессор  
*Казанский национальный исследовательский технологический  
университет*

В настоящее время активно ведется поиск добавок (дисперсных наполнителей, модификаторов, технологических добавок и т. п.), способных существенно повысить электретные свойства крупнотоннажных термопластов (полиэтилена, полипропилена, полистирола и т.д.).

Целью настоящей работы явилось исследование влияния дисперсных наполнителей – оксида меди, нитрита натрия, оксида цинка, диоксида титана и сульфата аммония на электретные свойства полипропилена марки 1315 М.

Характер спада электретных свойств изучаемых систем похож друг на друга вне зависимости от вида наполнителя, следовательно, можно говорить о том, что роль химической природы наполнителей в улучшении электретных свойств незначительна по сравнению с вкладом их структурных параметров и объемного содержания. На рис. 1 видно, что чем больше содержание наполнителя (в работе наполнитель вводился в массовых частях) и меньше размер его частиц, тем выше электретные свойства композиций.



**Рис. 1. Зависимость электретной разности потенциалов полипропилена и его композиций от времени хранения:**

1 - полипропилен, 2 - полипропилен с 4 % оксида меди; 3 - полипропилен с 4 % нитрита натрия; 4 - полипропилен с 4 % оксида цинка; 5 - полипропилен с 4 % диоксида титана; 6 - полипропилен с 4 % сульфата аммония

Более высокие значения  $U_{\text{эрт}}$  композиций по сравнению с ненаполненным полипропиленом связано с наличием в них энергетических ловушек инжектированных носителей зарядов с высокой энергией захвата: при наполнении полимеров дисперсными наполнителями возникают новые структурные элементы, способные служить ловушками носителей зарядов: граница раздела фаз, разрыхленный адсорбционный слой полимера вблизи поверхности наполнителя.

Таким образом, лучшими электретными свойствами из исследованных композиций обладает система полипропилена с 4 % диоксида титана.



## **МОДИФИКАЦИЯ ВТОРИЧНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ СМЕСЕВЫХ КОМПОЗИЦИЙ**

**А.В. Прудников, О. М. Касперович**

Научный руководитель – О. М. Касперович, канд. техн. наук, доцент  
*Белорусский государственный технологический университет*

В наши дни полимерные материалы широко распространены и находят своё применение, практически, во всех отраслях промышленности. Однако ассортимент крупнотоннажно выпускаемых полимеров ограничен, поэтому сегодня стремятся создавать новые композиционные материалы на основе базовых полимеров и смесевые системы, включающие в себя два и более полимеров. При этом немаловажным фактором является использование компатибилизаторов, позволяющих вплотную приблизиться к проблеме улучшения качественных характеристик несмешиваемых компонентов смеси.

Использование вторичного сырья в качестве новой ресурсной базы — одно из наиболее динамично развивающихся направлений утилизации полимерных материалов. В настоящее время проблема переработки отходов полимерных материалов обретает актуальное значение не только с позиций охраны окружающей среды, но и связана с тем, что в условиях дефицита полимерного сырья пластмассовые отходы становятся мощным сырьевым и энергетическим ресурсом.

Предметом исследования была композиция, содержащая вторичный полиэтилен низкой плотности (высокого давления) и вторичный полиамид, полученная вторичной переработкой барьерных пленок. Данная смесь трудна в последующей переработке из-за наличия в ней полиамида, который не совместим с полиэтиленом, а также значительно набирает влагу в процессе рециклинга. Мы решили использовать для улучшения совместимости компонентов компатибилизатор на основе полиэтилена с привитым малеиновым ангидридом, а также полипропилен для улучшения прочностных характеристик получаемых изделий.

Проведенные исследования показали, что добавление ПП с компатибилизатором увеличивает ПТР композиции при сохранении достаточно высоких прочностных характеристик. Это позволит использовать данную композицию для литья тонкостенных изделий с достаточно хорошими прочностными характеристиками.

## РАЗРАБОТКА АРМИРОВАННОЙ СТЕКЛОВОЛОКНОМ ПОЛИАМИДНОЙ КОМПОЗИЦИИ С ПОНИЖЕННОЙ ГОРЮЧЕСТЬЮ

**М.А. Костюченко, М.М. Ревяко**

Научный руководитель – М.М. Ревяко, д-р техн. наук, профессор  
*Белорусский государственный технологический университет*

Применение полимеров в таких отраслях промышленности как электротехника, строительство и машиностроение ограничено по причине присущей им горючести. Использование различных по химической природе антипиренов позволяет решить эту проблему. Для снижения горючести алифатического полиамида-6 применяются галогенсодержащие соединения, красный фосфор и его соединения, меламин и его производные, а также гидроксид магния.

В докладе представлены полимерные композиции на основе полиамида-6, содержащие в качестве армирующего компонента 30 % мас. стекловолокна. Используемый замедлитель горения – антипиряющая добавка «АП6-1», представляющая собой смесь 1,3,5-триазин-2,4,6-триамина и красного фосфора. Композиции получены по технологии экструзионного компаундирования в расплаве. Исследованы категория стойкости к горению на брусках толщиной 1,6 мм, основные механические показатели и трекинговая стойкость полиамидных композиций (табл. 1).

**Таблица 1**

Содержание «АП6-1», % мас.	0	14	17	20	23
Категория стойкости к горению	н.с.	н.с.	ПВ-2	ПВ-1	ПВ-0
Ударная вязкость по Шарпи, кДж/м <sup>2</sup>	70	58	54	52	46
Предел прочности при растяжении, МПа	158	153	146	145	139
Сравнительный индекс трекинга, В	450	400	375	375	350

Антипиряющая добавка «АП6-1», которая действует как в газовой, так и конденсированной фазах, в стеклонаполненном полиамиде-6 различным образом влияет на горючесть и электрические свойства полимера. С одной стороны, характер горения полиамидной композиции меняется: снижается склонность к каплепадению, образуется более плотный и прочный карбонизированный слой, играющий роль термического барьера. С другой стороны, карбонизированные структуры способствуют появлению токопроводящих перемычек, что приводит к электрическому пробое при более низких значениях напряжения. Композиция, содержащая 23 % мас. «АП6-1», характеризуется высокими прочностными показателями, высшей категорией стойкости к горению и достаточной трекинговой стойкостью для производства изделий, к которым выставляются специальные требования по горючести.

## **РАЗРАБОТКА ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ ПОНИЖЕННОЙ ГОРЮЧЕСТИ, СОДЕРЖАЩИХ АНТИПИРЕНУ**

**Е.В. Ефимова, А.Г. Любимов, В.В. Яценко**

Научный руководитель – В.В. Яценко, канд. хим. наук, доцент

*Белорусский государственный технологический университет*

Ежедневно в стране происходит несколько десятков пожаров. Гибель людей при пожаре, в половине случаев, определяется именно отравлением токсичными продуктами горения полимеров. Присущая многим полимерам воспламеняемость обуславливает необходимость принятия мер для обеспечения их безопасного использования. Эффективным способом увеличения пожаробезопасности является введение в материал при его переработке добавки, замедляющей горение – антипирена. Помимо обеспечения огнестойкости, антипирен должен легко вводиться в композицию, быть совместимым с полимером и эффективным даже в небольшой дозировке, он не должен сильно изменять физические характеристики полимера. Использование добавки не должно приводить к коррозии перерабатывающего оборудования и представлять опасности для рабочих или потребителей из-за пыли или паров.

Для исследований нами были изготовлены литьевые образцы из композиций на основе полипропилена с концентрациями антипирена 0; 1; 5; 10 %. В качестве добавок исследовались немодифицированный саморасширяющийся графит FR400 и саморасширяющийся графит трех модификаций (№ 1; № 2; № 3).

Исследования, проводимые нами в соответствии с ГОСТ 28157-89, заключались в определении стойкости образцов к горению, то есть в определении скорости распространения пламени по горизонтально расположенному образцу. Оказалось, что среди исследованных образцов наилучшими свойствами обладают: композиция ПП с добавкой немодифицированного саморасширяющегося графита FR400 в количестве 10 % и композиция ПП с содержанием саморасширяющегося графита модификации № 1 также в количестве 10 %. Для них время горения равно 0 с, скорость горения равна нулю. Таким образом: 10 % добавка придает свойства самозатухания, что соответствует свойствам материалов ПВ-О.

Для оценки изменения прочностных свойств ПП в присутствии добавок проводились испытания на изгиб. При этом образец, свободно лежащий на опорах, кратковременно нагружают в середине между опорами. Анализ полученных данных показал, что вводимые добавки не оказывают существенного влияния на прочностные характеристики материала. Напряжение при изгибе, модуль Юнга имеют несущественные отличия от значений для исходного полипропилена.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ЗАЩИТЫ КОЛЕСОСБЕРЕГАЮЩИХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТОРМОЗНЫХ КОЛОДОК**

**С.П. Кудельникова**

Научный руководитель – А.В. Павлов, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Коррозия железнодорожного транспорта - очень распространенная проблема. В очень жестких коррозионных условиях эксплуатируются колесосберегающие тормозные колодки. В современных колесосберегающих железнодорожных тормозных колодках в качестве фрикционных элементов используется полимерный композиционный материал и чугунная вставка. Чугунная вставка в контакте с сетчато-проволочным каркасом, расположенном в полимерном материале образует открытую коррозионно-активную систему. Сетчато-проволочный каркас является анодом, чугунная вставка – катодом, электролитом является влага, попадающая на поверхность колодки, и влага, удерживаемая асбестовым фрикционным материалом.

В результате долгосрочного мониторинга изучены коррозионные процессы, протекающие на металлических элементах колесосберегающей тормозной колодки и фрикционных материалов в модельных электролитах. Экспериментально доказано, что металлические элементы колесосберегающей тормозной колодки подвергаются интенсивной коррозии не только в период эксплуатации (высокая агрессивность окружающей среды, влажность, разнородность структуры металла и его состава, периодическое смачивание поверхности атмосферными осадками, загрязнение пылью и перевозимыми частицами), но и при хранении на открытом воздухе.

Для повышения надежной работы колесосберегающих тормозных колодок разработаны технические мероприятия, направленные на снижение скорости коррозии металлических элементов колодки. На сетчатый перфорированный каркас наносится электрохимическое цинковое покрытие толщиной не менее 6 мкм из щелочного электролита, так как оно обладает не только повышенной коррозионной стойкостью, но и устойчиво к абразивному износу и имеет высокую степень сцепления со стальной поверхностью. В целях защиты от коррозии и для повышения прочности связи между чугунной вставкой и полимерным композиционным материалом, чугунная вставка должна быть покрыта слоем бронзы не менее 20 мкм. Для снижения коррозионного воздействия со стороны полимерного композиционного материала необходимо заменить существующий асбестовый влагоудерживающий материал на гидрофобный безасбестовый наполнитель.

## **ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИМЕРНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ**

**А. Иманкулова, Н.М. Курбаналиев, Р.М. Шляпов, Ш.К. Амерханова**

Научный руководитель - Ш.К. Амерханова, д-р хим. наук, профессор

*Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова*

Полимерные металлсодержащие наноккомпозиты привлекают внимание прежде всего уникальными свойствами входящих в их состав кластеров, образованных разным количеством атомов металла или полупроводника - от десяти до нескольких тысяч. Типичные размеры такого агрегата - от 1 до 10 нм, что соответствует огромной удельной поверхности. Подобные наночастицы отличаются по свойствам (ширине полосы поглощения, спектральным характеристикам, электронному переносу) как от блочного материала, так и индивидуального атома или молекулы, причем полупроводниковые особенно сильно, даже если размер частицы достигает сотен нанометров. Целью настоящей работы являлось исследование электрических свойств полимерных пленок модифицированных наночастицами серебра.

В качестве основы полимерной пленки был использован поливиниловый спирт (молекулярная масса  $1,23 \cdot 10^6$  г/моль), наполнителем служили наночастицы серебра. Полимерные пленки с наночастицами получали по методу Туркевича, в котором восстановителем являлся цитрат натрия. Концентрация нитрата серебра составляет  $10^{-3}$  М, концентрация ПВС равна 8 %. Измерение емкости проводили резонансным методом, при разных частотах на приборе марки СМ-7115А в интервале температур 285 -323 К.

Из данных емкости рассчитаны значения диэлектрической проницаемости, время релаксации. Величина термического коэффициента емкости минимальна при частоте 5000 Гц, следовательно при данной частоте процесс поляризации и перенос заряда протекает наиболее интенсивно.

С другой стороны, указанные явления связаны с повышением диэлектрической проницаемости композитов при влиянии температуры и частоты. Следовательно, наноразмерные частицы серебра являются полярными и принимают участие в ориентационной поляризации композитов при воздействии электрического поля.

**ПОДГОТОВКА АТОМНО-МОЛЕКУЛЯРНЫХ МОДЕЛЕЙ  
ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ  
OPEN SOURCE**

**Х.А. Павлова**

Научный руководитель – М.Е. Соловьев, д-р физ.-мат. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

В настоящее время программное обеспечение Open Source является «открытым», то есть бесплатным, что позволяет обширно его использовать в государственных и бюджетных организациях.

Open Source включает в себя множество программ для создания атомно-молекулярных моделей, что в дальнейшем помогает качественно провести квантово-химические расчеты. Главным инструментом исследования при квантово-химическом моделировании является компьютер, на котором установлена одна из программ для расчетов по методу молекулярных орбиталей. К настоящему моменту доступно несколько таких программ, имеющих свои достоинства и недостатки.

Результаты квантово-химических расчетов представляют собой файл с обширной численной информацией о строении исследуемой молекулы (положения ядер в пространстве), распределении электронной плотности по молекуле, рассчитываемом как сумма плотностей вероятности каждого электрона. Выводятся сведения о полной энергии молекулы и ее составляющих: электронной энергии и энергии отталкивания ядер.

Рассмотрено несколько квантово-химических пакетов, которые могут быть использованы для создания атомно-молекулярной модели, и пример расчета термодинамических функций с использованием программы NWChem.

## **КОМБИНИРОВАННЫЙ СПОСОБ РЕГУЛИРОВАНИЯ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МЕХОВОГО СЫРЬЯ**

**Д.И. Лубкова, Г.Н. Кулевцов, И.Ш. Абдуллин**

Научный руководитель – Г.Н. Кулевцов, д-р техн. наук, профессор  
*Казанский национальный исследовательский технологический университет*

Шкуры шубно-меховых овчин всегда содержат в большом количестве микроорганизмы. Поэтому уже по истечении двух-четырех часов после снятия шкуры с животного она почти полностью теряет свои товарные качества из-за необратимого процесса гниения и становится непригодной для использования в качестве сырья для производства качественной пушно-меховой продукции. Применение традиционных методов консервирования мехового сырья (мокросоление, сухосоление) приводит к появлению пороков сырья, отрицательно влияющих на качество готовой продукции.

Предложена новая технология обработки парного сырья овчины с применением низкотемпературной плазменной обработки и активированной воды «анолит», позволяющая сохранить свойства парного сырья с 4 до 72 часов без бактериальной зараженности кожной ткани шкуры.

Проведены исследования в области применения активированной воды «анолит», полученной на установке «СТЭЛ-10Н-120-01» и воздействия неравновесной низкотемпературной плазмы в ходе которых были установлены закономерности воздействия низкотемпературной плазменной обработки и раствора активированной воды «анолит» на микробиологическое состояние шкур овчины. Исследована бактериальная зараженность обработанного сырья с целью определения времени сохранности к близко парному состоянию по ГОСТ 28425-90.

В результате проведенных исследований установлено, что предложенные способы снижения степени бактериальной зараженности могут быть применены в качестве комбинированной методики консервирования. Такая методика позволит увеличить временной интервал от снятия шкур с животного до процесса консервирования или выделки с сохранением ценных свойств парного сырья, что позволит сократить ряд технологических процессов, таких как консервирование и отмока. Исключение этих процессов сократит производственный цикл и позволит избежать пороков, возникающих при традиционных методах консервирования.

Список литературы:

1. Страхов, И.П. Химия и технология кожи меха // Легкая индустрия. – 1970. – 625 с.
2. Технический анализ кожевенного, мехового сырья и материалов, применяемых в производстве кожи и меха: Метод. указания к лабораторному практикуму / сост. А.В. Островская, В.А. Сысоев, Г.Н. Кулевцов; КГТУ. - Казань, 2002. - 32 с.
3. Применение нейтрального анолита АНК, вырабатываемого в установке СТЭЛ-10Н-120-01, для целей дезинфекции, предстерильной очистки и стерилизации: Метод. указания по применению анолита в установке «СТЭЛ-10Н-120-01» / сост. С.И. Иванов. – М., 2007. – 16 с.
4. Абдуллин, И.Ш. Высоочастотная плазменно-струйная обработка материалов при пониженных давлениях. Теория и практика применения / И.Ш. Абдуллин, В.С. Желтухин, Н.Ф. Кашапов. – Казань: Изд-во Казанского ун-та, 2000. – 348 с.

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОШПАРИВАТЕЛЕЙ

Г.Л. Верхола

Научный руководитель – Д.Н. Люлька, ассистент

*Национальный университет пищевых технологий, г. Киев, Украина*

Тепловая обработка (ошпаривание) свекловичной стружки является неотъемлемой составляющей процесса извлечения сахара из свеклы.

Проанализированы различные типы аппаратов для тепловой обработки свекловичной стружки (ошпаривателей): ротационный, оросительный, пароконтактный и одновальный противоточный. Рассчитаны наиболее важные для свеклосахарного производства параметры процессов, происходящих при ошпаривании: длительность процесса, степень ошпаривания стружки, тепловая эффективность, удельный расход пара.

**Таблица 1. Сравнение параметров процессов в ошпаривателях разных типов**

Параметр	Ротационный	Оросительный	Паровой	Противоточный
Длительность процесса $\tau$ , мин	8,7	4	0,3	13
Степень ошпаривания $A$ , %	81	72	66	100
Тепловая эффективность $E$ , %	81	76	63	92
Удельный расход пара $q$ , % к массе свеклы	2,6	2,1	10,5	0,9

Быстрее всего стружка нагревается в паровом ошпаривателе, дольше - в противоточном. Однако противоточный ошпариватель имеет отделение, где происходит перемешивание стружки с соком и удаление пены, что необходимо для дальнейшей стабильной работы диффузионной установки.

В паровом ошпаривателе процессы денатурации клеток не успевают завершиться, но стружка достигает необходимой температуры, и денатурация завершается уже в диффузионном аппарате за 10...15 минут.

Аппараты ротационного и оросительного типов являются «предошпаривателями». В них тепловая обработка не заканчивается, стружка подается в циркуляционный прямоточный контур ошпаривания, где нагрев завершается. Наиболее полно рекуперация тепла диффузионного сока, который отбирается из диффузионной установки, происходит в противоточных ошпаривателях. Такие ошпариватели обеспечивают возможность применения энергосберегающих тепловых схем сахарных заводов. Паровые ошпариватели обеспечивают очень интенсивный нагрев стружки и стерильность процесса, но рекуперация тепла диффузионного сока в них отсутствует. По этим причинам применение паровых ошпаривателей на современных сахарных заводах невозможно. Для модернизации сахарных заводов СНГ оптимальным является применение противоточного ошпаривателя, который может быть применен для комплектации диффузионных установок колонного, двухшнекового, ротационного и прессового типа на заводах по производству сахара и биоэтанола.



## **РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОГО ПЕРЕМЕШИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ**

**И.В. Пригужалов, Д.С. Терехин, В.К. Леонтьев**

Научный руководитель - В.К. Леонтьев, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

Потребность в перемешивании возникает в производстве в том случае, когда требуется: равномерно распределить дисперсную фазу, интенсифицировать тепловые и массообменные процессы.

Механическое перемешивание осуществляется при помощи перемешивающих устройств - мешалок.

Для перемешивания вязких жидкостей в лакокрасочной промышленности в реакторах со змеевиками была разработана конструкция прерывисто-ленточной комбинированной мешалки.

Мешалка должна создавать интенсивную циркуляцию жидкости за змеевиком для отвода тепла от стенок аппарата при его индукционном обогреве. Кроме того, необходимы большие скорости движения перемешиваемой среды у днища аппарата, тем самым способствуя поднятию твердой фазы со дна аппарата.

Прерывисто-ленточная комбинированная мешалка представляет собой следующую конструкцию: во всех витках сверху донизу в противоположных четвертях удалены куски лент. Образовавшиеся секции мешалки должны крепиться на валу с помощью разборных ступиц. В самом низу мешалки имеются две горизонтально противоположно направленные лопасти, к которым снизу приварены (под углом к направлению движения) отражательные пластинки. Эксперименты показывали, что время перемешивания жидкости и потребляемая мешалкой мощность зависят от количества витков ленточной мешалки и ширины ленты, причем характер зависимости противоположный, а именно: с увеличением количества витков и ширины ленты время перемешивания уменьшается, а потребляемая мощность возрастает.

Были также проведены экспериментальные исследования по оценке времени перемешивания и потребляемой мощности. По результатам экспериментов установлено, что ленточно-прерывистая мешалка промышленного реактора должна иметь пять витков, а ширину ленты  $1/6$  от диаметра мешалки.

**АППАРАТУРНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ  
ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТЕРМОПЛАСТОВ С МИКРОЯЧЕИСТОЙ  
ВСПЕНЕННОЙ СТРУКТУРОЙ**

**Ю.К. Литвак, Р.В. Паламарчук**

Научный руководитель – Е.З. Хрол, канд. техн. наук, ст. преподаватель  
*Белорусский государственный технологический университет*

В настоящее время в промышленности используется несколько разновидностей методов получения вспененных полимерных материалов. Каждая технология имеет свои особенности и реализуется на определенном технологическом оборудовании, на котором предусматривается возможность вспенивания термопластичного полимерного материала.

В ходе работы авторами было разработано и предложено несколько возможных вариантов конструкции узла впрыска литьевой машины, в котором подобный процесс вспенивания может реализовываться. При литье под давлением термопластов их вспенивание может осуществляться как химическими, так и физическими методами. В предложенных конструкциях реализуется физический вариант вспенивания, при котором в полость материального цилиндра, по которому перемещается полимерный расплав, осуществляется подача инертного газа (азота, изопентана и д.р.). При разработке конструкций указанных узлов необходимо предусмотреть возможность равномерного распределения вспенивающего агента (физический пенообразователь) по всему объему расплава, но при этом минимизировать вероятность создания дополнительного сопротивления перемещению расплава по каналам перерабатывающего оборудования и формирующего инструмента (т.е. по возможности избегать встречного течения двух потоков).

Предложенные конструкции узлов впоследствии были тщательно проанализированы. В результате сравнения всех разработанных конструкций авторами было предложено несколько вариантов узлов, которые характеризуются наиболее оптимальной конструкцией, а именно узлы с подачей вспенивающего газа: через материальный цилиндр; через барабан; через вставку сопла; через торпеду; а также узел с перпендикулярной подачей газа.

На следующем этапе авторы планируют реализовать предложенные подходы на практике путем оснащения уже имеющегося лабораторного перерабатывающего оборудования узлами новой конструкции, и сравнить эффективность стандартного и модифицированного процесса формования.

## РАЗРАБОТКА МАЛОЭМИССИОННОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ СЖИГАНИЯ ТОРФЯНОЙ ПЫЛИ

**А.С. Михайлов**

Научный руководитель – Ш.А. Пиралишвили, д-р техн. наук, профессор  
*Рыбинский государственный технический университет  
им. П.А. Соловьева*

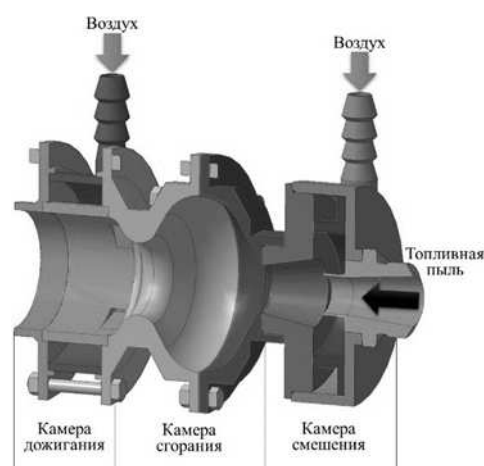
Современные нормы по эмиссии вредных веществ для тепловых электростанций привели к разработке большого числа методов, направленных на ограничение вредных выбросов в атмосферу. Наиболее перспективными являются методы подавления образования токсичных продуктов сгорания непосредственно на стадии сжигания топлива, качество которой определяется конструкцией горелочных устройств.

В этом направлении разработан принцип сжигания пылевидного торфяного топлива и реализующее его малоэмиссионное горелочное устройство, позволяющее в широких диапазонах изменять температуру горения и длительность пребывания частицы топлива в зоне реакции (рис. 1).

Топливная пыль подается в камеру смешения горелки вдоль оси устройства, где подхватывается закрученным потоком окислителя и, приобретая окружную составляющую скорости, попадает в камеру сгорания.

В камере сгорания устройства выполнено резкое сужение-расширение проточной части, за счет которого в спрофилированной области горелки возникает торроидальный вихрь и зона возвратных течений. Низкие скорости движения окислителя и длительное время пребывания аэросмеси в этой области способствуют устойчивому, интенсивному горению пылевидного топлива и образованию локального «кольца» высокой температуры, обеспечивающего стабильность процесса. На выходе из камеры сгорания выполнен тангенциальный подвод вторичного воздуха.

Реализованная схема двухступенчатого богато-бедного горения позволила избежать крупномасштабных областей повышенной температуры и как следствие снизить образование существенных выбросов оксидов азота и углерода. По результатам расчета концентрация оксидов азота  $\text{NO}$  и  $\text{NO}_2$  на выходе из горелочного устройства составляет  $90 \text{ мг/нм}^3$ , что в 1,5-2 раза ниже допустимого значения.



**Рис. 1. Принципиальная модель горелочного устройства**

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА И СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СПОСОБОВ ПЕРЕРАБОТКИ РЕЗИНОВОЙ КРОШКИ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ МОТОРНОГО ТОПЛИВА**

**О.А. Пихль, М.А. Каэв, Л.С. Григорьева**

Научный руководитель – Ю.Х. Сооне, PhD

*Таллиннский технический университет, Вирумааский колледж*

В научно-исследовательской лаборатории технологии топлив Вирумааского колледжа ТТУ исследованы два способа переработки резиновой крошки с целью получения моторного топлива: пиролиз и деструктивная каталитическая гидрогенизация.

Пиролиз резиновой крошки, полученной в процессе обдирки изношенной автомобильной шины, проводили в реторте Фишера в стандартном режиме, её каталитическую гидрогенизацию - на лабораторной установке при давлении водорода 1-15 МПа, конечной температуре нагрева 550 °С, в присутствии гетерогенного кобальт-никелевого катализатора. Продукты гидрогенизации сопоставлены с продуктами, полученными из того же сырья методом пиролиза.

Найден оптимальный режим гидрогенизации резиновой крошки – давление водорода 10 МПа при конечной температуре нагрева 550 °С. Показано, что выход продуктов незначительно зависит от способа переработки. Калорийность жидких продуктов гидрогенизации и пиролиза практически одинакова (43,3 и 44,2 МДж/кг соответственно). Отличаются физико-химические свойства. Вязкость жидкого продукта гидрогенизации (2,10 мм<sup>2</sup>/с), а также его плотность (0,870 кг/м<sup>3</sup>) меньше вязкости жидкого продукта пиролиза (4,92 мм<sup>2</sup>/с) и его плотности (0,921 кг/м<sup>3</sup>). Обнаружено, что содержание серы в жидком продукте гидрогенизации (0,08 %) значительно меньше, чем в аналогичном продукте пиролиза (0,85 %). Йодное число, характеризующее содержание непредельных углеводородов, значительно меньше у жидкого продукта гидрогенизации (46,5 г J<sub>2</sub>/100 г – гидрогенизация, 159,9 г J<sub>2</sub>/100 г - пиролиз). Содержание линейных алканов в жидких продуктах пиролиза и гидрогенизации равно 2,66 и 13,64 % соответственно.

Изучены твердые остатки процессов пиролиза и гидрогенизации. Рекомендованы их области применения. Оба продукта обладают хорошими адсорбционными свойствами. Величина адсорбции их равна 0,046-0,047 моль/г. Они имеют высокую теплоту сгорания (27,4-27,9 МДж/кг).

Исследованиями показано, что метод деструктивной каталитической гидрогенизации резинотехнических изделий является одним из возможных способов их переработки в качественное моторное топливо.

# **ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА УЛАВЛИВАЕМОЙ ПЫЛИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯ-КЛАССИФИКАТОРА**

**М.А. Юровская, А.В. Сугак, Д.Е. Смирнов**

Научный руководитель – А.В. Сугак, канд. техн. наук, доцент;

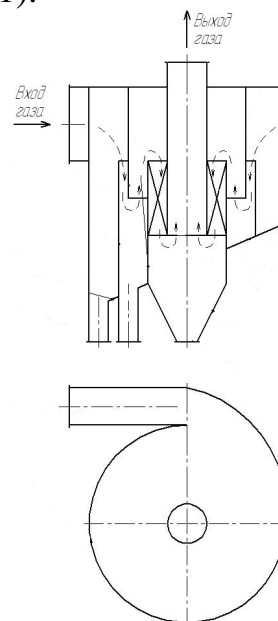
Д.Е. Смирнов, канд. техн. наук, ЗАО «Кондор-Эко»

*Ярославский государственный технический университет*

Наряду с традиционно используемым пылеулавливающим оборудованием в различных отраслях промышленности применяется оборудование, позволяющее не только выделять пыль из газового потока, но и классифицировать ее. Однако существующие сегодня аппараты обладают рядом недостатков. Основываясь на данных проведенного обзора и анализа технических решений, используемых в конструкциях газоочистного оборудования инерционного типа, был создан высокоэффективный пылеуловитель-классификатор, который позволяет не только эффективно улавливать пыль, но и классифицировать её на три фракции (рис. 1).

В проводимых ранее исследованиях опытного образца пылеуловителя-классификатора была подтверждена высокая эффективность его работы (порядка 98 %) при улавливании пыли с медианным размером частиц  $d_{50} = 132$  мкм. Однако в некоторых отраслях промышленности необходимо улавливать и классифицировать на фракции пыль с более мелкими частицами.

Были проведены исследования по определению влияния дисперсного состава улавливаемой пыли на эффективность работы пылеуловителя-классификатора. В ходе исследований установлено, что с уменьшением медианного размера частиц  $d_{50}$  эффективность работы аппарата незначительно снижается, при этом его классифицирующая способность сохраняется. В ходе исследований также получены зависимости эффективности работы пылеуловителя-классификатора от скорости запыленного газа на входе в аппарат, определен дисперсный состав полученных фракций для различных видов улавливаемой пыли.



**Рис. 1 Пылеуловитель-классификатор**

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ФЛЕГМОВОГО ЧИСЛА РЕКТИФИКАЦИОННЫХ КОЛОНН**

**П.В. Куделин, О.Н. Кораблева, Л.М. Соболева**

Научный руководитель – О.Н. Кораблева, канд. хим. наук  
*Ярославский государственный технический университет*

Основной метод разделения многокомпонентных смесей является ректификация. Процесс ректификации является массообменным процессом, протекающим в колонном контактном аппарате, где происходит двусторонний обмен между противоточно движущимися парами и жидкостью, содержащими разделяемые компоненты.

Флегмовое число, при котором функционирует колонна, или рабочее флегмовое число ( $R_{\text{раб}}$ ), изменяется от  $R_{\text{мин}}$  до  $R = \infty$ . Основными условиями необходимой степени разделения компонентов является поддержание необходимого флегмового числа. Определение флегмового числа (выбор метода расчета) представляет собой важную задачу на этапе расчета и планирования процесса ректификации, поскольку  $R$  обуславливает не только качество разделения многокомпонентной смеси, но и расход греющего пара.

Существует множество методов расчета процесса ректификации графические (метод Мак Кэба Тиле), аналитические (метод Сореля, метод Сореля – Харины, Льюиса – Матесона, Макинтайра, Финске – Андервуда, метод Джиллеленда), при помощи энтальпийной диаграммы (метод Понсона – Савари), ступенчатый метод расчета (Б.Н. Михайловского) и т. д.

Графические методы расчета процесса ректификации достаточно просты и наглядны, однако они обеспечивают невысокую точность расчета особенно при большом числе теоретических тарелок. Аналитические методы расчета в свою очередь требуют достаточно большого объема вычислений и связаны с использованием ЭВМ.

В работе:

- 1) выполнен расчет флегмового числа ректификационной колонны для разделения бинарной смеси различными методами,
- 2) проведена оценка относительной точности расчета для каждого рассматриваемого метода,
- 3) проанализирована сложность использования того или иного метода.

## **РАСЧЕТ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПНЕВМОТРАНСПОРТА**

**А.Д. Волкова, О.Ф. Чобу, В.К. Леонтьев**

Научный руководитель – В.К. Леонтьев, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Транспортные проблемы до некоторых пор удавалось решать совершенствованием техники подвижного состава, строительством новых участков дорог и развязок. Но традиционные виды общественного транспорта за долгие годы своего существования практически исчерпали резервы для дальнейшего совершенствования.

Одно из современных направлений развития транспорта – пневматический трубопроводный транспорт, который в будущем может стать самым массовым, простым и надёжным видом транспорта.

Нами были проведены расчеты транспортного средства при движении его по сложной траектории: сначала транспортное средство движется с горы по рольгангу с начальной скоростью  $v_n = 0$ , затем по инерции продолжает движение по горизонтальному участку до остановки и на конечном участке поднимается в гору за счет разрежения, создаваемого воздуходувкой.

Выполнены расчеты величины скорости движения транспортного средства массой 1000 кг при движении его по наклонной траектории под различными углами к горизонту, т.е. при гравитационном движении. Такой вид движения является наиболее простым и экономичным, так как не требует приводных механизмов.

Движение по горизонтальному участку рассматривалось, как равнозамедленное. При этом сила трения затрачивается на торможение транспортного средства. При расчете определялись время и расстояние, пройденное транспортным средством до его остановки.

Для движения транспортного средства вверх используется воздуходувка. При движении транспортного средства на этом участке коэффициент трения учитывал, также, трение манжеты контейнера о трубопровод. Работа, затрачиваемая воздуходувкой, расходуется на преодоление работы трения и на подъем груза на необходимую высоту. В зависимости от скорости подъема определялась мощность, затрачиваемая воздуходувкой. По полученной мощности с учетом расхода воздуха определялось вакуумметрическое давление всасывания. По разработанной методике проведен расчет движения транспортного средства по дну реки глубиной 15 м и шириной 700 м.

## **СТРУКТУРА ПОТОКОВ ЖИДКОЙ ФАЗЫ В ГАЗОЖИДКОСТНЫХ АППАРАТАХ**

**Е.Е. Медведева, А.В. Ерохин, В.К. Леонтьев**

Научный руководитель – В.К. Леонтьев, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Особое место среди химических машин и аппаратов занимают реакторы систем газ-жидкость. Эффективность и экономичность газожидкостных реакторов в значительной степени зависит от величины межфазной поверхности, которая обуславливается количеством и оптимальным распределением подводимой в рабочий объем энергии.

Газожидкостные аппараты с эжекционным диспергированием газа имеют ряд конструктивных и эксплуатационных преимуществ по сравнению с традиционными реакторами.

Структура взаимодействующих потоков в газожидкостных реакторах оказывает большое влияние на скорость тепло-массообменных процессов, поэтому её необходимо учитывать при разработке методик расчета аппаратов.

Скорости потока неодинаковы по сечению аппарата, причем распределение, или профиль, скоростей изменяется от сечения к сечению по длине (высоте) аппарата. Частицы потока движутся по криволинейным, часто довольно сложным траекториям, иногда и в направлении, противоположном основному направлению потока.

Наиболее точные данные о структуре потоков можно было бы получить путем непосредственного измерения скоростей во многих точках внутри аппарата или его модели. Но более удобно, а зачастую практически единственно возможно, получать не непосредственную, а косвенную информацию о поле скоростей путем изучения распределения отдельных частиц жидкости по временам их пребывания в аппарате. Для этого в поток нужно внести индикатор. Отклик на возмущение, внесенного при этом на входе в аппарат вводом индикатора, представляют в виде кривых зависимости концентрации его в выходящей жидкости от времени, которые называют выходными кривыми или кривыми отклика.

Для газожидкостных эжекционных аппаратов экспериментально получены кривые отклика и, после их обработки, предложены несколько моделей структуры потока жидкости в газожидкостном аппарате. Анализ С-кривых позволил сделать вывод о наличии в аппарате байпасного потока. Были предложены несколько моделей структуры потоков жидкости в газожидкостных аппаратах с эжекционным диспергированием газа. Для двух моделей определены их параметры известным методом моментов.



## **РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ЭКСТРАКТОРА С ЭЖЕКЦИОННЫМ ДИСПЕРГИРОВАНИЕМ ЛЕГКОЙ ФАЗЫ**

**Д.П. Прохоров, А.П. Левашев, В.К. Леонтьев**

Научный руководитель – В.К. Леонтьев, канд. техн. наук  
*Ярославский государственный технический университет*

Экстракционные аппараты находят широкое применение в нефтеперерабатывающей, нефтехимической, химической, пищевой, фармацевтической, микробиологической и металлургической промышленности.

В настоящее время используются в основном экстракторы двух типов — периодического и непрерывного действия. Экстракторы периодического действия выгоднее использовать в производствах с небольшими объемами потоков взаимодействующих фаз.

Поставленной задачей в работе являлась разработка новой конструкции экстрактора с эжекционным диспергированием легкой фазы.

Принцип работы экстрактора с диспергированием легкой фазы заключается в следующем:

Исходная смесь под давлением подается в распылитель жидкости, распыливается и засасывает экстрагент, поступающий в инжекционную камеру. Образовавшаяся смесь жидкостей проходит через смеситель, где происходит интенсивное перемешивание фаз. В смесителе происходит первая фаза контакта, обусловленная развитой поверхностью распыленной жидкости. В зависимости от режима работы смесителя, его геометрических параметров и перепада давления на распылителе, в смесителе может образовываться поток с различным соотношением жидких фаз. Поток может быть с дисперсной тяжелой фазой, либо легкой фазой. При определенных условиях может происходить инверсия фаз в самом смесителе. Подобный режим работы наиболее эффективен ввиду того, что в момент инверсии наблюдается наибольшее значение коэффициента массопередачи.

При выходе из смесителя поток с большой скоростью ударяется в диспергатор. При ударе потока о диспергатор дисперсные капли дробятся. Происходит вторая стадия контакта фаз. Затем обе жидкие фазы перемешиваются в реакционном объеме. После интенсивного контакта образовавшуюся смесь необходимо разделить на легкую и тяжелую фазу (экстракт и рафинат). Для этого смесь поступает в отстойную зону, которая представляет соотный цилиндрический аппарат большего диаметра

В работе проанализированы сферы использования экстракционных аппаратов в промышленности, предложена конструкция нового экстрактора с эжекционным диспергированием легкой фазы.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ МЕШАЛОК ДЛЯ ВЯЗКИХ ЖИДКОСТЕЙ**

**Е.Ю. Рогозина, Т.Н. Бушуева, В.К. Леонтьев**

Научный руководитель – В.К. Леонтьев, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Перемешивание жидких сред, с целью интенсификации многих физико-химических процессов и при приготовлении различных смесей (растворов, суспензий, эмульсий и т. п.), имеет весьма широкое применение в химической и ряде других смежных с ней отраслей промышленности.

Механическое перемешивание в промышленном реакторе имеет многоцелевое назначение. В частности, оно должно обеспечивать интенсивное выравнивание полей концентраций и температур в реакционной смеси, создавая достаточную циркуляцию жидкости, как в основном объеме, так и в кольцевом растворе между змеевиком и стенкой аппарата, а также обеспечивать достаточную скорость сдвига в реакционной массе в стадии выдержки.

В промышленном реакторе применяются мешалки различных типов, например: турбинная, якорная, листовая, пропеллерная и другие. Для исследования были приняты геометрически подобные мешалки указанных типов, а также ленточная мешалка.

Испытания мешалок проводились в сосуде, линейные размеры которого были меньше габаритов промышленного реактора. В качестве перемешиваемой среды применялись водные растворы глицерин и вода.

Гидравлическая мощность перемешивания подсчитывалась по разности электрической мощности двигателя постоянного тока. Число оборотов вала определялось тахометром. Скорость циркуляции жидкости (окружная и осевая) измерялась в трех точках с помощью миниатюрной трубки Вентури. Показывающим прибором был жидкостный манометр.

Анализируя полученные данные, можно отметить, что турбинная и пропеллерная мешалки не обеспечивают перемешивания во всем объеме сосуда на вязких жидкостях. Среди остальных типов мешалок по основным показателям преимущество имеет ленточная мешалка. Из производственных типов мешалок наилучшей оказалась листовая мешалка. Однако ленточная мешалка превосходит ее по эффективности и скорости циркуляции.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПНЕВМОМАГНИТНОГО ТРАНСПОРТА**

**И.М. Слободянюк, В.К. Леонтьев**

Научный руководитель – В.К. Леонтьев, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

В имеющихся информативных источниках много говорится о значимости транспортной инфраструктуры для развития страны. Ставятся задачи восстановления и выведения российской транспортной инфраструктуры на высококонкурентный уровень. Для выполнения этих задач необходимы инновационные разработки, в первую очередь, в области энергоэффективного транспорта.

Целью данной исследовательской работы является изучение процесса пневмомагнитного транспорта, предназначенного для перемещения жидких, твердых и крупногабаритных грузов.

Данный вид транспорта, пневмомагнитный транспорт, является инновационной разработкой ЯГТУ, созданной в 2013 году на кафедре «Процессы и аппараты химической технологии».

Для осуществления поставленной цели исследования сконструированы опытные образцы пневмомагнитного транспорта. Данные образцы имеют различные транспортирующие пути для своего перемещения. Были созданы образцы установленные на: колесную базу, магнитный подвес, рольганг.

В результате экспериментальных опытов, проведенных на лабораторной установке – опытных образцах, как путем непосредственного снятия показаний с приборов, так и при помощи математических вычислений, были получены соответствующие численные значения таких величин, как: тяговое усилие, объемный расход воздуха, средняя скорость транспортного средства, сила (действующая на поршень), потребляемая воздуходувкой мощность. В результате обработки экспериментальных данных зависимости потребляемой мощности воздуходувки от массы транспортного средства, зазора между магнитами, количества магнитов (или величины коэрцитивной силы), скорости движения транспортного средства и др.

На основе экспериментальных данных, разработана конструкция современная пневмомагнитного транспорта. Были проведены расчеты вариантов контейнерного пневмотранспорта при различных диаметрах пневмотрубопровода.

**ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ ВОДЫ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ,  
РАСЧЕТ ВАКУУМ-КРИСТАЛЛИЗАТОРА**

**В.М. Бурцева, А.А. Грибкова, В.К. Леонтьев**

Научный руководитель – В.К. Леонтьев, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Один из важнейших загрязняющих факторов – сжигание органического топлива, другой фактор – строительство водохранилищ, ГЭС и разработка угольных, газовых, нефтяных месторождений, приводящая к сокращению и ухудшению земельных ресурсов.

В условиях роста энергопотребления, ограниченности ресурсов традиционных видов топлива и обострения экологических проблем их использования реализована концепция рационального вовлечения в топливно-энергетический баланс нетрадиционных источников энергии. Геотермальная энергия – важнейший из нетрадиционных возобновляемых источников энергии, который уже сегодня вполне конкурентно способен на мировом рынке энергии.

В 60 странах мира выявлены источники геотермальной энергии различного потенциала, пригодные для практического использования. Лидерами в этой области являются США, Италия, Филиппины, Япония, Мексика, Новая Зеландия, Исландия и Индонезия.

В основном для производства энергии, используется парогидротермы с температурой более 100 °С и сравнительно редко применяются современные гибридные схемы.

Настоящая работа предполагает создание теоретических и практических основ для разработки, применения принципиальных схем комплексного энергетических и гидроминеральных сырьевых ресурсов на территории России с использованием существующего фонда геологических скважин нераспределенного фонда недр.

Нами был рассчитан вакуум-кристаллизатор, который представляет собой выпарной аппарат с выносной греющей камерой с принудительной циркуляцией с частичным осветлением циркулирующей суспензии.

Аппарат состоит из следующих основных элементов: выносной греющей камеры, сепаратора, каплеотделителя, расположенного в верхней части сепаратора, трубопровода вскипания, располагающегося над греющей камерой, циркуляционного трубопровода, подводящего упаренный раствор к циркуляционному насосу, циркуляционного насоса.

В сепараторе установлена воронкообразная опускная труба, для отвода в кристаллизационный объем (нижнюю часть сепаратора) пересыщенного раствора, поступающего из трубопровода вскипания.

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И РАСЧЕТ ОБОРУДОВАНИЯ  
ДЛЯ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ  
ЛИГНОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ**

**Т.П. Минеева, А.В. Черепанова, В.В. Соловьев**

Научный руководитель – В.В. Соловьев, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

В последние несколько лет в России активно внедряются современные технологии переработки растительных отходов. Объем отходов в стране чрезвычайно велик. Основные потери приходятся на древесную зелень (лесосечные отходы), кору (отходы деревопереработки), опилки и стружки (отходы лесопиления). Один из наиболее экологически вредных древесных отходов – гидролизный лигнин, а также лигнин, постоянно сбрасывающийся в пруды-накопители на целлюлозно-бумажных комбинатах (ЦБК) вместе с жирными и смоляными кислотами таллового масла. Сегодня на таких полигонах гидролизных заводов и ЦБК их находится свыше 5 млн тонн.

Из литературных источников, в которых приведено множество технологических схем переработки различных видов вторичного древесного сырья, имеются весьма эффективные варианты схем, базирующиеся на глубокой переработке древесных отходов. Однако их внедрение, хотя и предполагает значительный экономический эффект, требует больших капитальных и эксплуатационных затрат, квалифицированных кадров, сложного оборудования.

В настоящей работе, авторы предлагают совместить переработку отхода лигнина, жирных и смоляных кислот, так называемый лигносодержащий отход (ЛСО) находящийся в прудах накопителей большинства ЦБК. В ходе исследований предложены различные методы и приемы, которые позволяют разделять лигносодержащий отход на отдельные составляющие. К ним относятся вакуумная разгонка ЛСО; омыление карбоксильных групп компонентов присутствующих в ЛСО с последующей экстракцией из полученных мыл полезных компонентов петролейным эфиром; метод непосредственного использования различных растворителей для разделения лигносодержащего отхода на отдельные составляющие с применением метода отстаивания и фильтрования. Для реализации предлагаемой технологии на кафедре процессов и аппаратов проведены предварительные расчеты требуемого оборудования для различных методов первичной и вторичной переработки такого вида отходов в ценные химические продукты.

**ПРЕДЛОЖЕНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ  
ПО МЕТОДАМ И ПРИЕМАМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ  
ОПОРОЖНЕНИЯ ВАГОНОВ-ЦИСТЕРН  
ПОСЛЕ СЛИВА ВЯЗКИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ**

**О.А. Еременко, Е.В. Ткаченко, В.В. Соловьев**

Научный руководитель – В.В. Соловьев, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

В настоящее время определение массы нефти и нефтепродуктов в вагонах-цистернах проводится объемно-массовым статическим методом, который включает в себя отбор проб для определения температуры и плотности груза, выполнение замеров высоты налива и расчет массы груза в вагоне-цистерне.

Количество оставшегося вязкого углеводорода в вагоне-цистерне, по мнению авторов настоящей работы, может определяться объемно-массовым статическим методом, то есть замером высоты оставшегося нефтепродукта в цистерне метрштоком, с последующим определением объема вязкого углеводорода по таблицам калибровки, замером его плотности и окончательным расчетом массы оставшегося в цистерне нефтепродукта. Это связано с тем, что определение массы оставшегося груза (массы не слитых нефтепродуктов) в железнодорожной цистерне путем взвешивания на вагонных весах массы тары и массы брутто и последующим определением массы нетто как правило, проводится в редких случаях, так как такой процесс для каждой индивидуальной цистерны трудоёмок и финансово затратен. Снижение затрат на операцию определения количества оставшегося углеводорода в цистерне с помощью измерительного прибора - метрштока, наиболее целесообразно проводить в центральной точке люка-лаза по продольной оси цистерны. Для этого метршток плавно и строго вертикально опускается через люк-лаз до нижней кромки цистерны. Необходимо избегать резких ударов о дно цистерны и следить за тем, чтобы метршток не упирался в выступающие части цистерны и универсального сливного прибора, в лестницы или другие посторонние предметы. Опущенный до соприкосновения с нижней кромкой цистерны, метршток быстро и плавно извлекается. Высота нефтяного остатка в сантиметрах отсчитывается по линии смачивания метрштока нефтепродуктом. За высоту оставшегося в цистерне нефтепродукта принимают среднее арифметическое результатов двух или трех замеров. Полученный результат округляется до целого сантиметра: величина менее 0,5 см отбрасывается, а 0,5 см и более принимается за целый сантиметр. По полученной высоте в сантиметрах для каждого калибровочного типа цистерны по соответствующей таблице калибровки определяется объем оставшегося после слива нефтепродукта.

## **АНАЛИЗ РАБОТЫ УСТАНОВОК РАЗОГРЕВА И СЛИВА НЕФТЕПРОДУКТОВ**

**К.С. Бушуева, Е.И. Филимонова, В.В. Соловьев**

Научный руководитель – В.В. Соловьев, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Известно, что отдельные грузы из числа перевозимых наливом в вагонах-цистернах застывают или приобретают повышенную вязкость, что вызывает необходимость предварительного разогрева их перед сливом. В ходе предварительных исследований этой проблемы, было установлено, что получатели таких вязких и застывающих грузов обязаны иметь достаточные по мощности средства подогрева, обеспечивающие полный слив нефтепродуктов из вагонов-цистерн. Отмечено, что одновременно с разогревом груза в вагоне-цистерне перед открытием сливного прибора, особенно в зимнее время, необходимо предварительно разогреть его паром или иным теплоносителем для предотвращения повреждения его при открывании. Для ускорения слива из вагонов-цистерн с паровой рубашкой сливной прибор открывают после кратковременного разогрева (15-20 мин), при этом груз начинает сливаться из вагона-цистерны в вязком состоянии. Слив вязких углеводородов из вагонов-цистерн должен производиться полностью с удалением вязких продуктов с внутренней поверхности цистерны. Нефтепродукты считаются полностью слитыми из вагонов-цистерн с верхним или нижним сливом при наличии остатка не более 10-20 мм (по замеру метрштоком). Разогрев груза в вагонах-цистернах кострами, жаровнями, форсунками и другими источниками открытого огня запрещается. Вязкий или застывающий груз, прибывший в вагоне-цистерне с паровой рубашкой, разогревают паром. Для этого перед началом слива к выходному (верхнему) патрубку на корпусе сливного прибора подключают шланг от паропровода. Одновременно на патрубки, размещенные возле торцевых днищ вагона-цистерны, надевают шланги для выпуска конденсата. Пар давлением 0,3-0,4 МПа подается в паровую рубашку сливного прибора постепенно так, чтобы сначала из конечных патрубков для конденсата выходило небольшое количество пара, а потом только конденсат. При впуске пара и в процессе слива груза нижний патрубок на корпусе сливного прибора, предназначенный для выпуска конденсата, должен быть закрыт. Через 15-20 мин после подачи пара, когда сливной прибор и низ вагона-цистерны возле сливного прибора будут прогреты, открывают сливной клапан. В случае возникновения затруднений с открыванием клапана следует несколько увеличить время подогрева, так как причиной этого может быть ледяная пробка (получаемая при перевозке обводненной нефти или нефтепродукта), которую необходимо растопить.

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РАЗОГРЕВА  
УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ И МАЗУТА  
В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЦИСТЕРНАХ ПРИ СЛИВЕ  
В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

**А.В. Марченко, Л.М. Соболева, В.В. Соловьев**

Научный руководитель – В.В. Соловьев, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

Перед каждым потребителем, производителем или транспортировщиком высоковязких и застывающих нефтепродуктов (нефти, мазута, битума и т.д.), возникает проблема слива из цистерн таких углеводородов, обусловленная обязательной необходимостью разогрева их в цистерне перед разгрузкой. До недавнего времени разогрев цистерн производился открытым паром, подаваемым непосредственно в продукт. В результате этого обводнение сливаемого из цистерн углеводородного сырья достигало нескольких десятков процентов, а также требовалось время на отстой в резервуарах хранения для удаления воды, снижающей не только потребительские качества нефтепродукта, но и приводящее к существенным экономическим потерям. Практика работ большинства сливо-наливных эстакад показывает, что при плотностях нефтепродукта, близких к  $1 \text{ т/м}^3$  (более  $980 \text{ кг/м}^3$ ), отстаивание не приносит положительных результатов, а добавление деэмульгаторов во многих случаях только ухудшает ситуацию, увеличивая размер водных кластеров, равномерно распределенных по объему вязкого углеводорода.

Одним из перспективных способов слива мазута из цистерн можно считать систему циркуляционного разогрева нефтепродуктов с использованием замкнутого контура. По этой технологии холодный продукт перемещается в контур циркуляционного разогрева, нагревается во внешнем теплообменнике и возвращается в цистерну. Такая обработка не только не приводит к обводнению нефтепродуктов, а позволяет работать даже с неисправными емкостями, у которых сливной прибор цистерны не функционирует. В этом случае операция производится через верхний люк. Основная суть предлагаемого решения заключается в следующем: в расходной емкости хранится заранее залитый в неё нефтепродукт; при запуске установки он разогревается до жидкого состояния и подается насосом в теплообменник для разогрева до требуемой температуры; температура выставляется в зависимости от вязкости нефтепродукта и температуры окружающей среды; далее при помощи насоса горячий нефтепродукт поступает в цистерну и распыляется; часть разогретого нефтепродукта в цистерне переходит в жидкое состояние и происходит его слив в расходную емкость, что обеспечивает непрерывный разогрев мазута; излишки слитого продукта поступают в продуктовый трубопровод при помощи откачивающего насоса.



**ПЕРСПЕКТИВЫ И ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ  
БИОКОМПОНЕНТОВ ДЛЯ НЕФТЯНЫХ ТОПЛИВ  
ИЗ АЛЬТЕРНАТИВНОГО КИСЛОРОДСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ**

**М.Ф. Корбан, Ю.Н. Воронцова, В.В. Соловьев**

Научный руководитель – В.В. Соловьев, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

В условиях повышения цен на нефть и природный газ, а также истощения мировых запасов этого вида углеводородного сырья неуклонно возрастает интерес к использованию альтернативных источников энергии. За рубежом решение этой проблемы связывают, во-первых, с применением топливного метанола, этанола или иных алифатических спиртов. Во-вторых, в дизельные и другие тяжелые углеводородные топлива предлагается вводить кислородсодержащие продукты на основе растительных масел и их производных. Однако спирто-нефтяные смеси термически неустойчивы и при низких температурах, которые характерны для России, легко расслаиваются. В тоже время применение специально культивируемых растительных масел является трудной задачей для отечественного сельского хозяйства. Однако действующий Евро стандарт требует сегодня обязательной добавки этих компонентов в дизельные и бензиновые топлива. Для решения этой проблемы в настоящей работе предлагается простой и доступный выход из сложившейся ситуации. Согласно разработанной технологии в нефтяные топлива предлагается вводить одновременно оба этих вида кислородсодержащих компонентов - спирты и растительные масла, но не в чистом виде, а виде их химически модифицированных смесей. В качестве смесей предложено использовать сложные алифатические эфиры жирных кислот  $C_{18}$ , алифатический спирт и стабилизатор топливной смеси. При этом по предлагаемой технологии, спирт для получения сложных алифатических эфиров берется в таком избытке, чтобы его оставшаяся после проведения реакции этерификации не прореагировавшая часть соответствовала тому расчетному количеству спирта, которое обычно вводят в спирто-нефтяные смеси для производства биотоплив. Регулирование остаточного количества спирта и извлечение из него реакционной воды, образующейся в процессе получения сложных алифатических эфиров, предложено проводить при помощи введения в реакционную смесь азеотропообразователя (чаще всего бензола). При этом реакционная вода выводится из смеси в виде азеотропа, а избыток спирта остается в системе. В ходе выполненной работы был подобран такой избыток алифатического спирта, что его нет необходимости отделять от алифатических эфиров после проведения процесса этерификации.

## ПОЛУЧЕНИЕ ЭНЕРГИИ ИЗ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ

**Ю.О. Полозуко, Е.С. Процышина, В.В. Соловьев**

Научный руководитель – В.В. Соловьев, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

В последние годы во всем мире, а в особенности в России энергетическое использование древесной биомассы и, в частности, древесных отходов, рассматривается как желанная альтернатива традиционным видам топлива. Это связано с тем, что древесные отходы являются  $\text{CO}_2$ -нейтральными, имеют низкое содержание серы, относятся к возобновляемым источникам энергии и могут широко использоваться для отопления загородных коттеджей, крупномасштабное строительство которых развернулось в нашей стране в последнее время. Анализ литературы показал, что сжигание древесных отходов базируется на нескольких методах: прямое сжигание, сжигание в кипящем (циркулирующем) слое. Прямое сжигание происходит в топках с горизонтальной, конусообразной, наклонной или подвижной решеткой. Данный метод используется в домашних водогрейных котлах и печах малой мощности (менее 20 МВт) для сжигания древесного топлива, в том числе с высокой влажностью: кусковых и длинномерных отходов, щепы, коры, опилок, топливных брикетов и гранул - пеллет. Если необходимо вырабатывать электрическую энергию, то отходы сжигаются в паровом котле с последующим использованием пара в паровой турбине. Эта технология имеет низкий электрический КПД порядка 8-13 % (для мини-ТЭЦ мощностью 600-1000 кВт), который повышается благодаря использованию более совершенных методов сжигания, таких как сжигание в кипящем (циркулирующем) слое или сжигание мелко-пеллетного древесного топлива. Однако эти методы используются в электростанциях мощностью не менее 5 МВт, строительство которых требует больших капитальных затрат. Сжигание в кипящем (циркулирующем) слое позволяет достичь большей эффективности и экономичности за счет почти 100 %-го сгорания топлива при меньшем уровне эмиссии отходов горения по сравнению с прямым сжиганием. При использовании данного метода древесное топливо подается в «кипящий» слой, созданный путем продувания воздуха или газа через слой инертного материала, например, песка. Количество инертного материала существенно больше количества топлива, поэтому процесс горения протекает стабильно с высокой эффективностью. В зависимости от скорости продувки частицы инертного слоя остаются в нем или же выносятся из слоя вместе с продуктами горения и собираются с помощью циклонов, после чего возвращаются в кипящий слой (метод циркулирующего слоя). Метод сжигания в кипящем слое используется в коммерческих или муниципальных котельных и ТЭЦ в диапазоне мощностей от 5 до 600 МВт для получения электрической и тепловой энергии.

# НОВЫЙ ПОДХОД К ПОЛУЧЕНИЮ ЗАМЕЩЕННЫХ БЕНЗОФУРАНОВ

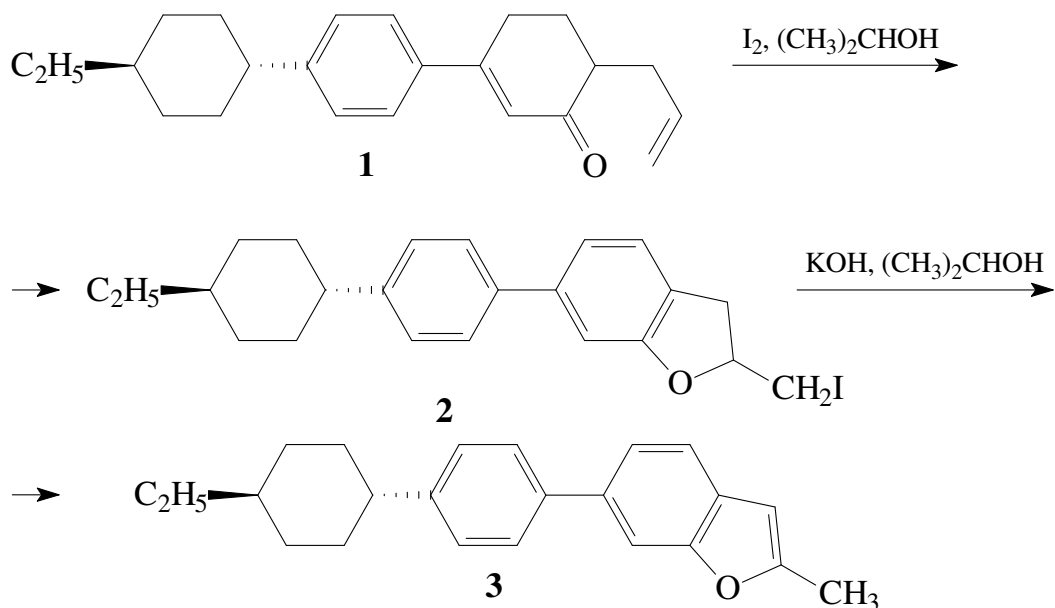
Д.А. Литвинов, С.Г. Михалёнок, В.С. Безбородов

Научные руководители – С. Г. Михалёнок, канд. хим. наук, доцент;

В.С. Безбородов, д-р хим. наук, профессор

Белорусский государственный технологический университет

Замещенные метилбензофураны широко распространены в природе и находят применение в фармацевтической промышленности для получения противоопухолевых, противогрибковых, противовирусных препаратов, других биологически активных антагонистов, лигандов, предназначенных для лечения различных видов заболеваний. Поэтому острым остается вопрос получения бензофуранового фрагмента. С этой целью ранее нами был разработан достаточно эффективный метод синтеза 3-[4-(*транс*-4-этилциклогексил)фенил]-6-аллилциклогекс-2-енона **1**.



Комбинация аллильного и циклогексенонового фрагментов в кетоне **1** позволила при кипячении данного соединения в изопропиловом спирте с йодом получить с выходом более 90 % 2-(йодметил)-2,3-дигидробензофуран **2**, который легко отщепляет галогеноводород при нагревании его со щелочью в изопропиловом спирте и превращается с выходом 95% в бензофуран **3**. Строение соединений **2** и **3** подтверждено методами ИК- и ЯМР-спектроскопии. Полученные бензофураны могут быть перспективны в качестве физиологически активных веществ.

## СЕКЦИЯ «ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ»

УДК 537.632/.636; 57.043

### ОЦЕНКА СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА, ЭКРАНИРУЮЩЕГО ДЕЙСТВИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Е.А. Гузов

Научный руководитель – В.Н. Казин, д-р хим. наук, профессор  
*Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова*

На нынешнем этапе развития научно-технического прогресса человек вносит существенные изменения в естественное магнитное поле, придавая геофизическим факторам новые направления и резко повышая интенсивность своего воздействия. Электромагнитное поле возникает в результате работы электрических устройств (ЛЭП, радио, телевидения, промышленные установки и т. п.), приводит к нарушениям работы электромагнитных систем и изменениям в тонких клеточных и молекулярных биологических структурах. Во избежание неблагоприятного влияния фактора на организм необходимо важное место уделять вопросу о защите. В настоящее время арсенал эффективных средств защиты от электромагнитных излучений не достаточен.

В качестве защиты предлагается железосодержащий материал, представляющий собой осадок от электрофильтров металлургического завода. Технической значимостью данного материала является то, что одним из его компонентов являются гальваношламы, образующиеся в больших количествах при очистке сточных вод гальванических производств. Таким образом, параллельно решается задача по утилизации крупнотоннажных промышленных отходов.

Объектами исследования в данной работе были выбраны гемореологические показатели крови крыс. Параллельно оценивались свойства магнитозащитного материала.

В ходе работы были получены следующие результаты:

- показатели крови крыс (гематокрит и индекс агрегации эритроцитов) при действии постоянных магнитных полей изменились на 8,1-8,3 %. Данную тенденцию можно объяснить изменением заряда на поверхности мембран эритроцитов, влекущее за собой нарушение в системе электростатического отталкивания эритроцитов;

- значения общего белка и гемоглобина в образце по отношению к контролю изменялись на 26-28 %. Это связано с возможными трансформациями в структуре белков под действием магнитного поля;

- в присутствие железосодержащего защитного материала гематокрит и индекс агрегации эритроцитов изменяются 2-2,7 % по отношению к контрольному образцу, а общий белок и гемоглобин на 11-16 %.

Таким образом, установлено, что железосодержащий защитный материал, полученный на основе отходов гальванических производств, обладает магнитозащитными свойствами и может быть рекомендован для практического применения.

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОЙ МИГРАЦИИ КОМПОНЕНТОВ  
ГАЛЬВАНОШЛАМА И ЕГО МОДИФИКАЦИИ  
ИЗ СОДЕРЖАЩИХ ИХ РЕЗИН**

**Н.А. Соколова, В.М. Макаров**

Научный руководитель – В.М. Макаров, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет»*

В результате проведения многочисленных исследований установлен положительный эффект при введении в резиновые смеси прокаленного гальваношлама.

Применение гальваношлама и его модификаций являются своеобразной утилизацией отходов. Но закономерно встает вопрос миграции тяжелых металлов, содержащихся в этих соединениях ( $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ), а также ионов  $\text{Ba}^{2+}$  в окружающую среду в процессе эксплуатации.

Для оценки такой возможности была проведена водная экстракция в растворе хлорида натрия (10 %) резин (имитация износа протектора) при нормальной и повышенной температуре (95 °С). При этом давалась оценка только миграции неорганических веществ. В результате неидеального перемешивания ингредиентов резиновой смеси в применяемом оборудовании могут образовываться микрообъемы, где их концентрация повышена. Теоретически эти микрообъемы должны подвергаться наибольшему влиянию экстрагента (воды). В связи с тем, что в экстрагент могут выделяться различные органические ингредиенты, из рекомендуемой схемы исследования выбрано определение только санитарно-химических показателей с последующим их сопоставлением с допустимыми уровнями (ДУ) и допустимым количеством миграции (ДМК). Соотношение резина : вода или раствор хлорида натрия выдерживалось равным 1:10. При нормальной температуре резина находилась в жидкостях 10 суток, кипячение производилось в течение 1 часа.

Результаты анализа показали отсутствие вышеуказанных ионов в экстракте при нормальной температуре. После кипячения содержание  $\text{Fe}^{3+}$  - 0,1 мг/дм<sup>3</sup> (ДУ < 0,5 мг/дм<sup>3</sup>);  $\text{Ni}^{2+}$  - 0,2 мг/дм<sup>3</sup> (ДУ = 0,5 мг/дм<sup>3</sup>);  $\text{Cr}^{3+}$  - отс. (ДУ – отсутствие);  $\text{Cu}^{2+}$  - отс (ДУ = 0,1 мг/дм<sup>3</sup>);  $\text{Zn}^{2+}$  - 1,1 мг/дм<sup>3</sup> (ДУ = 5 мг/дм<sup>3</sup>). При этом абсолютная величина ДМК > ДУ.

На основании вышеизложенного сделать заключение об экологической безопасности введения гальваношлама и его модификаций в резиновые смеси.

**ПРИРОДООХРАННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПРОМЫШЛЕННЫХ  
ПРЕДПРИЯТИЙ РОССИИ (НА ПРИМЕРЕ МАГНИТОГОРСКОГО  
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА, г. МАГНИТОГОРСК,  
ЧЕЛЯБИНСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

**А.К. Василенко**

Научный руководитель – В.В. Анисимова, канд. геогр. наук, доцент  
*Кубанский государственный университет*

Охрана окружающей среды – главная задача любого государства. Это не только цель сохранения природы в первозданном виде для будущего поколения, но и ограничение её от отрицательного воздействия человеческой деятельности. Сделать так, чтобы предприятия были сами заинтересованы в снижении объема выбросов и количества отходов, а также безотходном производстве – задача промышленной экологии. В России остро стоит проблема охраны окружающей среды, и государство упорно старается исправить ситуацию, проводя различные мероприятия, привлекая как физические, так и юридические лица. В нашей стране главным нормативным актом является ФЗ от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [1].

Примером по природоохранной деятельности среди предприятий может служить Магнитогорский металлургический комбинат (далее ММК) в городе Магнитогорске, Челябинской области, представляющий собой металлургический комплекс с полным производственным циклом, начиная с подготовки железорудного сырья и заканчивая глубокой переработкой черных металлов.

Планируя долгосрочное и устойчивое развитие компании, руководство и персонал ОАО «ММК» считают сокращение вредных воздействий на окружающую среду одной из своих стратегических целей и осуществляют производственную деятельность с пониманием ответственности за воздействие на окружающую среду. Стратегией ММК по снижению негативного воздействия на окружающую среду и население в зоне влияния своей производственной деятельности является переход на современные технологические процессы, оснащенные природоохранными сооружениями на базе наилучших имеющихся (доступных) технологий, с одновременным выводом из эксплуатации устаревших агрегатов [2].

В целом, крупное промышленное предприятие ОАО «ММК» выполняет все требования и стандарты, принятые РФ по охране окружающей среды. Помимо всего этого, в нашей стране проводятся различные мероприятия по охране окружающей среды, тем не менее, на территории России продолжается разрушение объектов мирового наследия.

Список литературы:

1. Федеральный Закон от 10 января 2002 г. №7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://base.garant.ru/12125350/3/#block\\_300](http://base.garant.ru/12125350/3/#block_300)
2. Официальный сайт ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Экологический менеджмент [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.mmk.ru/about/responsibility/ecology/environmental\\_management/](http://www.mmk.ru/about/responsibility/ecology/environmental_management/)

**НАПРАВЛЕННЫЕ ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ  
СОЕДИНЕНИЙ ЖЕЛЕЗА, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ  
ПРИ ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯЦИОННОЙ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД  
И ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

**Н.А. Соколова, С.З. Калаева, В.М. Макаров**

Научный руководитель – В.М. Макаров, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Образующиеся соединения железа идентифицировались методами рентгенографии, Мёссбауэровской спектроскопии и дериватографии.

Образец №1 представлял собой осадок оксигидроксида железа, полученный при растворении анода из Ст. 3 в 0,1 %-ном растворе хлорида натрия при плотности тока 1,5 А/дм<sup>2</sup>. Образец №2 получен модифицированием образца № 1 путем введения 5 % зародышей гетита ( $\alpha$ -FeOOH) в раствор хлорида натрия до начала растворения железного анода. Образец № 3 получен по образцу № 2 с дополнительным барботированием воздуха в суспензию. Образец № 4 получен по образцу № 2 с введением зародышей гетита в суспензию после завершения процесса электрорастворения анода.

Рентгеновские исследования показали, что в образец № 1 содержится, в основном,  $\gamma$ -FeOOH с примесями  $\alpha$ -FeOOH и следов  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Получение образца № 2 позволило частично направить процесс кристаллизации в сторону образования 40 %  $\alpha$ -FeOOH. Образец № 3 содержал более мелкокристаллическую структуру по сравнению с образцом № 1, но меньшее количество  $\alpha$ -FeOOH. Образец № 4 также содержит около 40 %  $\alpha$ -FeOOH. Величина частиц суспензии не превышает 10 нм. Мёссбауэровские спектры термообработанных при температуре 300 °С образцов показали наложение двух сверхтонких расщеплений (одно близко к  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, а другое к  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) и суперпарамагнитного дублета, относящегося к  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Дериватографическое исследование выявило двухступенчатую дегидратацию: потерю адсорбционной воды при 130-170 °С и дегидратацию оксигидроксидов при 260-290 °С.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ СОСТОЯНИЯ РАБОТНИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА В ТЕЧЕНИЕ РАБОЧЕГО ДНЯ

**М.Н. Питерская**

Научный руководитель – А.Н. Варнавский, канд. техн. наук, доцент  
*Рязанский государственный радиотехнический университет*

На сотрудника технологического предприятия в течение трудового дня действуют различные негативные производственные факторы. Выход за предельно допустимые значения какого-либо фактора может повлиять на работоспособность работника, его состояние и со временем привести к возникновению профессиональных заболеваний. В связи с этим актуальной является задача разработки способов снижения риска возникновения профессиональных заболеваний. При решении данной задачи необходимо использовать средства и технологии моделирования.

Целью работы является моделирование динамики состояния работника технологического производства в течение рабочего дня. Назначение разрабатываемой модели – спрогнозировать и оценить время возникновения неблагоприятных изменений в состоянии здоровья работника.

Чтобы оценить суммарное воздействие факторов, необходимо определить, как их уровень отличается от ПДЗ. Просуммировав значения отношений величины каждого фактора к его ПДЗ, получим коэффициент, который является оценкой суммарного воздействия всех неблагоприятных факторов на работника производства. Для описания изменения состояния человека с течением времени будем использовать экспоненциальный закон. Свяжем показатель степени экспоненты с оценкой суммарного воздействия неблагоприятных производственных факторов:

$$S(t) = S_0 \cdot e^{-k \cdot \sum_i \frac{x_i}{\text{ПДЗ}_i} t},$$

где  $x_i$  – величина  $i$ -го вредного фактора;  $\text{ПДЗ}_i$  – предельно допустимое значение  $i$ -го вредного фактора производства.

Используя данную модель, можно осуществить прогноз того времени, когда у сотрудника начнет развиваться заболевание, связанное с его профессиональной деятельностью. Для этого необходимо определить или задать пороговый уровень оценки суммарного воздействия неблагоприятных факторов. При его достижении необходимо принять меры по оптимизации трудового дня работника производства, коррекции его состояния.

Использование предлагаемой модели направлено на решение задачи здоровья сбережения работника технологического производства.



**КОРРОЗИОННАЯ АКТИВНОСТЬ  
ХЛОРСОДЕРЖАЩИХ ДЕЗИНФИЦИРУЮЩИХ РАСТВОРОВ  
К УГЛЕРОДИСТЫМ СТАЛЯМ**

**Ю.Н. Чайка, М.И. Кислая**

Научный руководитель – В.И. Романовский, канд. техн. наук, ассистент  
*Белорусский государственный технологический университет*

Абсолютное большинство водозаборных скважин и трубопроводов питьевого водоснабжения выполнены из стальных обсадных труб. В качестве обсадных труб и трубопроводов для частного питьевого водоснабжения часто применяют цельнотянутые трубы из стали Ст20 ГОСТ 8732-78 с толщиной стенки 6 мм. Иногда используют трубу толщиной стенки 4,5 мм Ст3 ГОСТ 10704-91.

В целях дезинфекции внутренней поверхности скважин и трубопроводов питьевого водоснабжения сегодня во всем мире активно используют хлорсодержащие дезинфицирующие растворы, обладающие рядом недостатков.

Целью представленной работы является сравнительный анализ коррозионной активности хлорсодержащих дезинфицирующих растворов к углеродистым сталям.

Сравнительный анализ коррозионной активности этих растворов на металлические поверхности является весьма актуальной задачей. Для определения коррозионной активности использовались следующие реагенты: гипохлорит кальция; гипохлорит натрия; хлорная известь; насыщенный раствор озона в воде. Исследуемые концентрации хлорсодержащих дезинфицирующих растворов: 50, 100 и 150 мг/л активного хлора. Для коррозионных испытаний использовались пластинки из углеродистой стали марок Ст3 и Ст20. Исследования проводили весовым и электрохимическим методом.

Результаты экспериментов по двум используемым методам исследований практически полностью соответствуют друг другу. Среди хлорсодержащих дезинфицирующих растворов наиболее коррозионноактивными являются растворы гипохлорита натрия. Глубинный показатель коррозии до 9,6 и 4,9 раз выше (для Ст3) и до 8,8 и 9,8 раз выше (для Ст20) чем растворы гипохлорита кальция и хлорной извести соответственно. В ряде экспериментов наблюдается эффект пассивации металла при увеличении концентрации активного хлора в растворе. Из приведенных результатов видно, что значения весового и глубинного показателя для стали марки Ст3 значительно ниже, чем для стали марки Ст20. Т.е. с увеличением содержания углерода в стали наблюдается ускорение его коррозии.

## **БОЛЕЗНИ РАСТЕНИЙ - ГЛОБАЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА**

**А.Р. Дорошенко**

Научный руководитель – А.Б. Разумова, канд. хим. наук, доцент  
*Международная академия бизнеса и новых технологий, г. Ярославль*

Актуальность данной темы заключается в том, что болезни растений являются одними из основных причин гибели посадочного материала, т.е. урожая – что является основой питания, как для людей, так и для животных.

В мировой практике известны многочисленные примеры огромных потерь, большого ущерба сельскому хозяйству от проникновения и распространения опасных вредителей и заболеваний растений. Болезни растений являются серьезной глобальной экологической проблемой.

Для защиты растительных богатств нашей страны существует правовой режим, предусматривающий систему мер по охране растений и продукции растительного происхождения от карантинных объектов на территории Российской Федерации.

Болезни растений - процессы, которые протекают в растении под влиянием разных причин - возбудителей болезней и неблагоприятных условий среды, проявляются в нарушении функций (фотосинтеза, дыхания, синтеза пластических и ростовых веществ, тока воды, питательных веществ), строения организма и вызывают преждевременную гибель растения или поражения отдельных его органов.

Существуют определенные диагностики для разных типов болезней, ищутся способы решения этих проблем. Люди борются с болезнями, находят способы избежать ущерба во вред себе и окружающему миру...

В настоящее время идут исследования по совершенствованию форм ведения сельского хозяйства, с помощью методов селекции и генной инженерии выводятся новые виды растений и животных, более устойчивые к вредителям, жизнестойкие, обладающие более высокими продуктивными качествами.

Прежде всего, основной путь к решению экологических проблем лежит в повышении культуры землепользования, в формировании более ответственного подхода к природным ресурсам. Одним из путей к этому может стать развитие частных хозяйств, где земля передаётся в собственность на длительное время, что служит стимулом к сохранению её производственного потенциала.

**ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ГАЛЬВАНОШЛАМОВ  
НА МАЛЯРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
ПРОДУКТОВ ИХ ТЕРМООБРАБОТКИ**

**А.А. Цюхай, О.Ю. Федорова**

Научный руководитель - Л.С. Ещенко, д-р техн. наук, профессор  
*Белорусский государственный технологический университет*

Известно, что пигментные материалы можно получать на основе гальваношламов путем их термической переработки. Цветовые и малярно-технические характеристики пигментов зависят от дисперсности исходного сырьевого материала, содержания хромофоров, условий получения.

В данной работе изучено влияние состава гальваношламов на малярно-технические характеристики пигментных материалов. Объектами исследования явились железосодержащие гальваношламы с содержанием соединений железа в пересчете на  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  35-55 % мас. Первую группу составили медьсодержащие шламы с содержанием 20-25 % мас. соединений меди в пересчете на оксид; вторую - шламы, в состав которых входят соединения цинка (14-35 % мас.) и кальция (8-14 % мас.); к третьей группе отнесены никель-, хромсодержащие шламы с содержанием соединений хрома (8-12 % мас.) и никеля (6-10 % мас.). Шламы сушили, затем подвергали термообработке при 600-800 °С и определяли фазовый состав и малярно-технические характеристики.

Показано, что продукты термообработки шламов всех групп при температуре 700 °С приобретают коричневую окраску. Наиболее насыщенный коричневый цвет характерен для продуктов термообработки шламов третьей группы, в которых преобладающей фазой является маггемит, имеющий темно-коричневый цвет. При 800 °С у продуктов термообработки шламов второй группы появляется красный оттенок, что связано с кристаллизацией гематита.

Укрывистость продуктов термообработки шламов первой группы составляет 30-33 г/м<sup>2</sup>, второй 18-21 г/м<sup>2</sup>, третьей 10-11 г/м<sup>2</sup>. Наиболее высокая кроющая способность продуктов термообработки шламов третьей группы связана с их высокой дисперсностью, размер частиц 0,1-5 мкм. Маслосъемность пигментных материалов составляет 50-85 г/100 г. Наиболее низкая маслосъемность характерна для продуктов термообработки шламов второй и третьей групп.

Проведенные исследования показали, что малярно-технические характеристики наиболее близки аналогичным показателям синтетических железосодержащих пигментов для продуктов термообработки шламов, содержащих хромофорные соединения хрома и никеля.

## **ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ МЕДИ ИЗ МОДЕЛЬНОГО РАСТВОРА ПРОМЫВНЫХ ВОД ВАНН УЛАВЛИВАНИЯ**

**А.С. Минич, Е.М. Ромашко, А.А. Черник**

Научный руководитель – А.А. Черник, канд. хим. наук, доцент  
*Белорусский государственный технологический университет*

Одним из основных недостатков существующих систем очистки сточных вод гальванических производств является то, что отработанные электролиты и металлсодержащие растворы на большинстве предприятий не выделяются как отдельный отход, а смешиваются со стоками других операций и далее направляются на очистку. Это приводит к повышению нагрузки на очистных сооружениях, увеличению солевого состава обрабатываемых растворов, возможности превышения установленных нормативов в очищенной воде.

Целью работы явилось исследование регенерации меди (II) из модельного раствора промывных вод ванны улавливания после процесса сернокислого меднения, содержащего 29,6 г/л  $\text{Cu}^{2+}$ , методом прямого электролиза.

Рабочий электролит объемом 0,4 л подвергали прямому электролизу на катоде из медной сетки площадью 2,1 дм<sup>2</sup> при плотности тока 0,3 А/дм<sup>2</sup> из расчета объемной плотности тока 1,6 А/л. Электролиз проводили циклами, время проработки рассчитывали для осаждения 1 г металла. В качестве нерастворимых анодов использовали ОРТА. В ходе электролиза плотность тока постепенно снижали до 0,15 А/дм<sup>2</sup>. Снижение плотности тока проводили исходя из поляризационных исследований с целью поддержания приемлемого выхода по току, и получения осадка, плотно сцепленного с поверхностью. Проработку исследуемого раствора проводили с механическим перемешиванием.

Во время электролиза измеряли напряжение на ванне, по окончании каждой проработки рассчитывали выход по току и степень извлечения меди (II), количество пропущенного электричества, измеряли удельную электропроводность раствора, контролировали значение рН. Остаточную концентрацию ионов металла в исследуемом растворе определяли титметрически.

В работе установлено, что электрохимическое восстановление меди (II) целесообразно проводить до остаточной концентрации 0,15–0,2 г/л при постепенном снижении плотности тока до 0,15 А/дм<sup>2</sup>, со средним выходом по току 74 %, средней степенью извлечения 50 %, при этом количество пропущенного электричества составляет 10,5 А·ч, далее использовать химическую доочистку раствора.

## **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СПОСОБОВ ПЕРЕРАБОТКИ ВАНАДИЙСОДЕРЖАЩЕГО ШЛАМА**

**Д.С. Харитонов, Е.В. Крышилович, И.И. Курило**

Научный руководитель – И.И. Курило, канд. хим. наук, доцент  
*Белорусский государственный технологический университет*

Объемы накопления в Республике Беларусь ванадийсодержащего шлама (ВШ) теплоэлектростанций, образующегося при сжигании углеводородного сырья, существенны и составляют более 10 тыс. т. В результате проведенных исследований установлено, что содержание ванадия в данном виде отходов изменяется от 0,2 до 3,0 %, что существенно выше, чем в традиционном рудном сырье – титаномagneзиевых рудах. Целью работы была сравнительная оценка способов переработки ВШ теплоэлектростанций, позволяющих получать ванадийсодержащие продукты, пригодные для дальнейшего промышленного использования.

Для исследований были выбраны ванадийсодержащие зольные остатки, образующиеся при сжигании мазута и содержащие 4,56 % мас. ванадия в пересчете на  $V_2O_5$ . Изучена растворимость ВШ и степень выделения ванадия из них в электролитах различного состава в зависимости от температуры, ультразвуковой обработки, анодной поляризации. Оптимизированы параметры выделения соединений ванадия из растворов выщелачивания.

На основании проведенных исследований предложены способы переработки ВШ: 1) гидрометаллургический, включающий стадии двухстадийного выщелачивания ванадийсодержащих компонентов в кислых растворах с добавлением окислителя, выделения соединений ванадия из растворов выщелачивания термогидролитическим методом; 2) электрохимический, включающий стадии выщелачивания ванадийсодержащих компонентов при анодной поляризации, выделения соединений ванадия из растворов выщелачивания термогидролитическим или электрохимическим методами.

Каждый из предложенных методов имеет ряд преимуществ и недостатков. Степень выделения соединений ванадия при двухстадийном выщелачивании может достигать 95 %. Использование электрохимических методов позволяет проводить процесс выщелачивания в одну стадию с такой же степенью извлечения. Содержание ванадия (в пересчете на  $V_2O_5$ ) в выделенном продукте при использовании химического и электрохимического методов составляет 85 и 70 % соответственно. Применение предложенных методов позволяет использовать доступные растворы электролитов, предотвратить образование токсичных газообразных веществ, создать замкнутый рецикл «выщелачивание – регенерация рабочих растворов».

**ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ  
ВАНАДИЙСОДЕРЖАЩЕГО ШЛАМА, ПОЛУЧЕННОГО  
ПРИ СЖИГАНИИ УГЛЕВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА**

**А.А. Ярошук, Е.В. Крышилович, И.И. Курило**

Научный руководитель – И.И. Курило, канд. хим. наук, доцент  
*Белорусский государственный технологический университет*

Разработка способов комплексной переработки ванадийсодержащих шламов (ВШ), образующихся на теплоэлектростанциях (ТЭС) при сжигании углеводородного топлива, обеспечивает решение двух основных задач: расширение сырьевой базы на остродефицитный металл и снижение экологической нагрузки на природную среду.

Методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDX) установлено, что усредненное содержание  $V_2O_5$  в зольных остатках, образующихся на ряде предприятий Республики Беларусь, составляет около 3,0–4,5 % мас. Хранение ванадийсодержащих отходов ТЭС совместно с другими промышленными отходами в открытых шламохранилищах приводит к их разбавлению и образованию растворов, содержание ванадия в которых не превышает 1 мас. %. С целью установления экологической опасности долгосрочного хранения ВШ проведен мониторинг почв на территориях, прилегающих к теплоэлектростанциям. Установлено, что в 40 % проб содержание ванадия превышает его предельно допустимую концентрацию (150 мг/кг почвы с учетом фона) на 10-90 %.

Установлено, что использование гидрометаллургического способа для обезвреживания и комплексной переработки зольных остатков, образующихся при сжигании топливного мазута, позволяет извлекать до 95 % содержащегося в них ванадия. Методом EDX и РФА определены составы ванадийсодержащих продуктов, выделенных в процессе переработки. Содержание  $V_2O_5$  в них составляет 70-85 %, что соответствует требованиям ТУ на данный реагент. Установлена возможность использования выделенного  $V_2O_5$  для изготовления цветных глазурей и пигментов. С применением шихты для производства кирпича рядового полнотелого одинарного и твердых остатков, образующихся после выщелачивания ванадийсодержащих компонентов из ВШ, получена опытная партия лицевого строительных материалов, которые прошли успешные испытания в аккредитованной лаборатории.

Таким образом, предложенные способы обезвреживания и комплексной переработки ВШ, образующихся при сжигании углеводородного топлива, позволяют получать коммерческий ванадийсодержащий продукт, пригодный для дальнейшего использования в различных областях промышленности, а также снизить негативное воздействие ванадийсодержащих соединений на окружающую среду.

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЛЬВАНОШЛАМА НА ОСНОВАНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА**

**Н.А. Соколова, В.М. Макаров**

Научный руководитель – В.М. Макаров, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Термин «гальваношлам» относится только к осадкам – гидроксидам металлов, образующимся при очистке промывных сточных вод гальванических участков и представляющим собой разбавленную суспензию с влажностью 97-98 %. При отстаивании в течение 8-10 часов осадок уплотняется и влажность снижается до 88-90 %. При этом объем осадка составляет 14 % от объема первоначальной суспензии. Если на предприятии есть возможность организации двухстадийного отстаивания, то за последующие 4 часа объем осадка снизится до 10 % от объема первоначальной суспензии. Последней операцией, соответствующей термину «гальваношлам», является его обезвоживание на вакуум- или пресс-фильтрах до влажности 78-60 %. В таком морфологическом состоянии он еще не может быть применен без сочетания с процессом сушки, после которого его следует считать «переработанным гальваношламом» (ПГШ). Частицы переработанного гальваношлама имеют удельную адсорбционную поверхность до 20 м<sup>2</sup>/г, и после сушки влажность увеличивается до 5-6 % в процессе хранения. Поэтому, в целях экономии энергии, последующие процессы переработки следует выполнять без его вылежки. Сухой ПГШ еще является смесью гидроксидов. Необходимо подчеркнуть, что состав гальваношлама достаточно сильно различается при очистке промывных сточных вод гальваники реагентным и электрокоагуляционным способом. Гальваношлам второго способа очистки промывной воды предпочтителен для переработки в востребованные продукты. Наиболее характерный его состав представлен гидроксидами следующих элементов, %: Fe – 68,279; Cr – 8,088; Cd – 4,653; Ni – 1,234; Ca – 5,750; Mg – 1,503; Zn – 6,615; Cu – 2,396; Si – 1,482.<sup>1</sup> Доминирующее содержание железа обеспечивает возможность получения из ПГШ железооксидных коричневых пигментов, магнитно-мягких материалов ( $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Наличие Cr, Ni, Zn, Cu придает полученным материалам антикоррозионные свойства. При прокаливании ПГШ происходят процессы ферритизации, в том числе образование ферритов кальция, также обладающих антикоррозионными свойствами.

---

<sup>1</sup> Анализ выполнен на приборе EDX – 800 Shimadzu методом рентгенофлуоресцентной энергодисперсной спектроскопии.

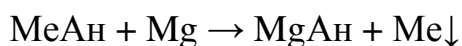
## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕДИ ИЗ ОТРАБОТАННЫХ ТРАВИЛЬНЫХ РАСТВОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАГНИЕВОЙ СТРУЖКИ

**Н.Е. Головина, О.П. Филиппова**

Научный руководитель - О.П. Филиппова, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Один из наиболее токсичных отходов ювелирного производства образуется в процессе аффинажа (т.е. получения высокочистых благородных металлов) – это отработанный травильный раствор (ОТР), содержащий в себе серную, соляную и азотную кислоты, а также ионы металлов, таких, как железо двухвалентное, алюминий, медь, никель, хром трехвалентный и цинк. Этот раствор является токсичным отходом, и на данный момент технологии по его утилизации не существует.

Для нейтрализации ОТР, а также возможности извлечения из него ценных компонентов (меди) предложено использовать магниевую стружку (отход завода «Сатурн») и стальной стержень. При добавлении магниевой стружки в ОТР происходит бурная реакция, сопровождающаяся выделением газа и выпадением осадка. При этом цвет раствора сильно изменяется: от изумрудно-зеленого до грязно-желтого. При этом протекают следующие реакции:



где  $\text{Me} - \text{Al}^{3+}, \text{Zn}^{2+}, \text{Cr}^{3+}, \text{Fe}^{2+}, \text{Ni}^{2+}, \text{Cu}^{2+}$ ;  $\text{An} - \text{SO}_4^{2-}, \text{NO}_3^-, \text{Cl}^-$ .

Установлено, что в 100 мл ОТР растворяется в среднем 2,1 г магниевой стружки, и при этом выпадает осадок массой около 20 г. При соотношении массы полученного осадка к объему исходного травильного раствора можно получить следующий результат: в 1 л ОТР при растворении магниевой стружки можно получить около 200 г осадка. Содержание металлов в ОТР представлено в таблице 1:

**Таблица 1. Содержание металлов в ОТР**

Название	Fe	Cu	Ni	Zn	Al
Значение	1,56	44,55	4,892	1,529	0,13
Размерность	%	Мг/л	Мг/л	Мг/л	Мг/л

В результате проведенных исследований установлено, что травильный раствор содержит множество ионов металлов. Самое большое содержание – меди, никеля и железа. Метод осаждения меди с помощью магниевой стружки и стального стержня, по нашему мнению, является эффективным и может быть применён на практике, и, кроме того, вместе с медью в осадок выпадают и другие металлы, многие из которых представляют экономическую ценность.



## **ПОЛУЧЕНИЕ АНТИКОРРОЗИОННОГО ПИГМЕНТА МЕТОДОМ ФЕРРИТИЗАЦИИ ИЗ СУСПЕНЗИЙ ГАЛЬВАНОШЛАМОВ**

**К.С. Кузнецов, О.П. Филиппова**

Научный руководитель – О.П. Филиппова, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Гальваношламы, являющиеся достаточно распространенными промышленными отходами машиностроительных производств, относятся к I–III классам опасности. В их составе содержатся соединения тяжелых металлов (Сг, Zn, Сг, Ni, Cd, Pb, Sn), которые представляют опасность для окружающей среды, т.к. загрязняют природные воды и почвы при сбросе сточных вод гальванических производств или при складировании гальваношламов (ГШ) на свалках. При этом захоронение гальваношламов не является рациональным, поскольку они содержат соединения, обладающими ценными свойствами. На сегодняшний день утилизация гальваношламов не превышает 3 % от общего объема их образования (14 млн тонн в год в масштабах РФ), а все остальное вывозится на необорудованные полигоны и накопители (площадью до 10 тыс. га), являющиеся явными или потенциальными источниками экологической опасности.

Но настоящего времени еще не получили распространение технологии утилизации гальваношламов, которые в наибольшей степени использовали физико-химические свойства содержащихся в них соединений тяжелых металлов. В данной работе представлен способ получения антикоррозионных пигментов на основе гальваношламов методом ферритизации из суспензий. При получении пигмента из сухих компонентов стадии смешения предшествует стадия просушивания. Нами предлагается исключить эту стадию и смешивать компоненты в виде суспензии, что обеспечит лучшее смешение и более полное взаимодействие компонентов для повышения качества пигментов. Стадии получения следующие: промывка теплой водой, смешение с кальций содержащим отходом в соотношении соответствующем отношению оксидов железа и кальция 1:1, прокаливание и измельчение полученного пигмента в электромагнитном измельчителе (ЭМИ). Для определения оптимальных параметров процесса ферритизации были получены образцы в диапазоне температур 800–1000 °С и различным временем прокаливания: 30, 60 и 90 минут. Определили физико-химические показатели полученного пигмента.

В результате проведенных исследований установили, что по антикоррозионной активности пигменты на основе суспензий ГШ превосходят пигменты из «сухих» и «чистых» компонентов и могут быть рекомендованы для получения консервационных материалов.

## **ПОЛУЧЕНИЕ ПИГМЕНТА, СОДЕРЖАЩЕГО ФОСФАТ ЖЕЛЕЗА**

**М.А. Малеина, Г.А. Ефимова, Н.А. Соколова**

Научные руководители - Г.А. Ефимова, канд. хим. наук, доцент,  
Н.А. Соколова, аспирант

*Ярославский государственный технический университет*

При гальванической обработке деталей на машиностроительных предприятиях образуются сточные воды, при очистке которых получают гальваношламы (ГШ), состоящие из гидроксидов тяжелых металлов (железа, хрома, меди, цинка, никеля и других металлов). Способ очистки гальваносточков определяет массовую долю соединений железа в ГШ, которая может достигать 80-90 %.

На кафедре «Охрана труда и природы» проводятся работы по поиску путей утилизации ГШ.

Известно применение в качестве антикоррозионных пигментов лакокрасочных композиций фосфатов цинка и хрома. Опубликован ряд патентов по получению фосфатов железа на основе солей или оксидов железа с целью получения пигментов, используемых в лакокрасочной и силикатной промышленности.

Целью настоящей работы явилось изучение свойств продуктов фосфатирования ГШ.

Для исследований с предприятия г. Иваново был взят ГШ с массовой долей соединений железа в пересчете на оксид около 70 %. Фосфатирование ГШ проводили следующим образом: в фарфоровую ступку помещали определенное количество шлама, к нему по каплям добавлялось расчетное количество 50 %-ного раствора фосфорной кислоты, исходя из мольного отношения  $\text{Fe} : \text{H}_3\text{PO}_4 = 1 : 0,25$ . Смесь ГШ с кислотой тут же тщательно перетиралась пестиком. При этом наблюдалось разогревание реакционной смеси и выделение небольшого количества газа.

Обработанный кислотой ГШ либо высушивали при температуре 100 °С, либо после высушивания прокаливали при температуре 600 °С в течение двух часов. У полученных продуктов определяли массовую долю потерь при термических воздействиях и массовую долю железа.

Были проанализированы водные вытяжки изучаемых веществ. Определяли рН, электропроводность, содержание хромат- и фосфат-ионов, общее солесодержание, антикоррозионное торможение.

Свойствами наиболее близкими к свойствам антикоррозионных пигментов обладают продукты фосфатирования ГШ после прокаливания.

## **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ ДЛЯ СУХОЙ ОЧИСТКИ ЗАГРЯЗНЕННОГО ВОЗДУХА**

**К.М. Муратова, А.А. Махнин**

Научный руководитель - А.А. Махнин, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Защита воздушного бассейна от загрязнений промышленными выбросами является в настоящее время одной из важнейших проблем, затрагивающей в той или иной степени все страны мира, поэтому вопросам газоочистки сейчас уделяется исключительно большое внимание во всех индустриально развитых странах.

Основная часть воздушного сепаратора (пылеуловителя) - зона сепарации (зона разделения), то есть пространство, в котором происходит отделение твердых частиц от воздушного потока. В центробежно-инерционном сепараторе отделение пыли происходит в результате действия следующих факторов – ее оседания на стенки корпуса под действием центробежной силы во вращающемся потоке, за счет отставания более инерционных частиц мелкодисперсных твердых частиц от газа при развороте газового потока и за счет сил гравитации.

По предварительным данным разработанный центробежно-инерционный пылеуловитель высокоэффективен в работе, особенно для мелкодисперсной пыли, компактен, отличается простотой в изготовлении и эксплуатации, не имеет движущихся частей, способен работать при повышенных температурах и в ряде случаев может быть использован в качестве второй ступени очистки к имеющимся циклонам.

Наиболее перспективным направлением повышения эффективности работы аппаратов нового поколения является создание пылеуловителей-классификаторов (двухступенчатых и трехступенчатых), эффективная работа которых основана на поддержании величины инерционной составляющей результирующей силы на протяжении всего пути движения газового потока внутри аппарата за счет последовательного изменения направлений движения и изменения сечений каналов восходящих и нисходящих потоков. Разработанная конструкция пылеуловителя-классификатора способна не только улавливать пыль, но и классифицировать ее по фракциям, при этом разные фракции пыли собираются в разные приемники с дальнейшим их использованием в качестве конечного продукта или сырья. Создание таких аппаратов задача сложная, требует проведения большого количества долговременных экспериментальных исследований. В трехступенчатом пылеуловителе-классификаторе практически все три стадии были по отдельности испытаны на опытных установках и показали свою высокую эффективность.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАГНИТНЫХ СОРБЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОЧВ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ**

**А.Н. Соловьёва, Т.С. Кисленкова, М.С. Мальцева, С.З. Калаева**

Научный руководитель – С. З. Калаева, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

В последнее десятилетие обострились вопросы, связанные с влиянием нефтяного производства на экологическую ситуацию в различных регионах, поскольку масштабы использования нефти постоянно возрастают. Нефть и нефтепродукты являются одним из основных и крупномасштабных загрязнителей окружающей среды. Для России проблема ликвидации разливов нефти особенно актуальна, поскольку на ее территории в настоящее время эксплуатируется более 550 тыс. км трубопроводов. Суммарная площадь загрязнений почв нефтью и нефтепродуктами по состоянию на 20 ноября 2013 года на территории РФ составила 40,559 тыс. гектаров.

Среди способов очистки почвы от нефтепродуктов можно выделить основные: сбор нефтезагрязненной почвы и отжиг нефтепродуктов, возгонка углеводородов токами средней и высокой частоты, микробиологическое разложение алканов и, наконец, сорбция. Недостаток первых двух способов заключается в их высокой стоимости, загрязнения воздуха продуктами сгорания или возгонки нефти и уничтожения плодородной почвы. Применение микробиологического метода для очистки нефтяных загрязнений поверхностных вод в условиях Крайнего Севера ограничено довольно низкими температурами.

Наиболее эффективный и доступный метод быстрого сбора нефти при аварийных разливах — сорбция. Сбор и удаление нефти и нефтепродуктов с любой поверхности с помощью сорбентов осуществляются несколькими способами: методом простого расстилания (типа "промокашки"), нанесением формованных или дисперсных сорбентов, а также с помощью специальных валков с нанесением на их рабочую поверхность сорбирующих материалов. Недостаток данного метода — трудность сбора насыщенного сорбента с поверхности почвы, а так же возможность десорбции нефтепродуктов обратно в почву.

В нашей работе мы исследовали возможность применения магнитных сорбентов, полученных из отходов металлургических производств, для очистки почвы от нефтепродуктов. Главное преимущество предложенного метода в том, что магнитный сорбент может управляться при помощи электромагнита.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ

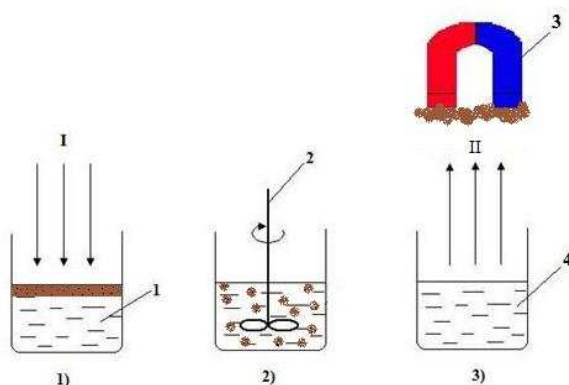
**А.Н. Соловьева, А.В. Режова, И.А. Невзоров, С.З. Калаева**

Научный руководитель – С.З. Калаева, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

Воды, загрязненные нефтепродуктами (НП) представляют особую опасность для водоемов. В настоящее время в большинстве водоемов фоновая концентрация часто превышает ПДК. Это касается не только рыбохозяйственных водоемов, где ПДК по НП всего  $0,05 \text{ мг/дм}^3$ , но и обычных водоемов, в которых ПДК не должна превышать  $0,5 \text{ мг/дм}^3$ , а для сернистой нефти до  $0,1 \text{ мг/дм}^3$ . НП имеются в сточных водах практически всех предприятий, среди которых есть ряд особо выделяющихся, например, металлургические заводы с прокатными станами, ТЭЦ, ТЭС, многочисленные автопредприятия и другие. Особенно опасны аварийные разливы НП. Если промышленные стоки очищаются практически все в той или иной степени, то аварийные выбросы могут быть ликвидированы только подручными средствами, что значительно снижает их эффективность. Аварийные выбросы при всей их редкости часто наносят природе больший вред, чем все регулируемые промышленные стоки.

Нами исследован процесс очистки воды от нефтепродуктов с помощью магнитных сорбентов (МС), полученных из отходов производства (рисунок 1). Начальная концентрация НП составляла  $100 \text{ мг/дм}^3$ .



**Рис. 1. Схема очистки воды от нефтепродуктов:**

I – магнитный сорбент; II – омагниченные нефтепродукты; 1- ёмкость с водой и нефтепродуктами; 2- перемешивающее устройство; 3- электромагнит; 4 – очищенная вода

Этапы очистки: 1) распыление магнитного сорбента; 2) перемешивание; 3) сбор омагниченных нефтепродуктов с помощью электромагнита.

Для сравнения мы исследовали процесс очистки воды от НП с помощью магнитных сорбентов из реактивного сырья, магнетита (очистку проводили по описанной технологии) и очистку воды с помощью активированного угля, которую проводили в адсорбере. Отношение сорбента к нефтепродуктам во всех опытах было 1:10. Результаты исследования показали, что степень очистки воды от нефтепродуктов с помощью МС из отходов производства находится на уровне магнитных сорбентов из реактивного сырья и активированного угля.

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУЧЕНИЯ МАГНИТНЫХ ЖИДКОСТЕЙ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ДЕФЕКТОСКОПИИ**

**А.А. Чеснокова, Э.А. Денисова, М.Е. Терзи\*, С.З. Калаева**

Научный руководитель – С.З. Калаева, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

Для обнаружения нарушений сплошности (трещин, немагнитных включений и др. дефектов) в поверхностных слоях деталей из ферромагнитных материалов применяется магнитная дефектоскопия.

Одним из самых распространенных методов неразрушающего контроля стальных деталей является магнитопорошковый. Этот метод позволяет выявить дефекты в деталях без их нарушения и повреждения и, следовательно, дает возможность проводить контроль подавляющего большинства стальных деталей. При магнитопорошковом методе контроля применяют магнитные дефектоскопические материалы: порошки, суспензии и магнитогуммированные пасты. Эти материалы имеют крупный размер частиц и не устойчивы.

Ранее нами изучена возможность применения магнитных жидкостей (МЖ) в качестве дефектоскопического материала при магнитопорошковом контроле сварных соединений. Определены основные параметры магнитных жидкостей, обеспечивающие высокую чувствительность магнитопорошкового метода контроля. Результаты показали, что применение магнитных жидкостей повышает эффективность выявления дефектов поверхности металлических изделий по сравнению с традиционным магнитопорошковым методом за счет уменьшения величины магнитных частиц с 5-70 мкм до 13-20 нм.

Целью нашей работы явилась оптимизация параметров получения магнитных жидкостей из железосодержащих отходов целевым назначением для дефектоскопии (МЖ на основе масел с плотностью не более 1100 кг/м<sup>3</sup>, МЖ на основе керосина с плотностью 1100-1200 кг/м<sup>3</sup>, намагниченность насыщения МЖ не менее 10 кА/м). Исследовались зависимости свойств магнитных жидкостей от скорости перемешивания, от скорости добавления аммиака, от размера частиц магнетита.

## **РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУР АНТИСЕПТИЧЕСКИХ БИТУМНЫХ ПАСТ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ДРЕВЕСИНЫ ОТ ГНИЕНИЯ**

**А.С. Черная, А.Ю. Визгин, Н.Л. Гурылёва, С.Д. Тимрот**

Научные руководители - С.Д. Тимрот, канд. техн. наук, доцент;

Н.Л. Гурылёва, канд. техн. наук, ст. преподаватель

*Ярославский государственный технический университет*

Древесина является прекрасным строительным материалом. Обладая большой прочностью, лёгкостью, хорошим теплозащитным качеством, она в то же время легко подвергается разрушению различными грибами и насекомыми, которые сравнительно быстро превращают ее в распадающуюся на кусочки труху. Исходя из этого, хранящуюся древесину рекомендуется антисептировать.

Существует несколько видов антисептиков для древесины: водорастворимые, органорастворимые, маслянистые и пасты. Первые широко распространены, дешевы и не скрывают красоту древесных волокон, пропитывая их на довольно большую глубину. Основа антисептических паст может быть различна: хлористый, фтористый и кремнефтористый натрий. Однако, в виду того, что влаге свойственно испаряться, обрабатывать водорастворимыми веществами приходится каждые 2 года. Органорастворимые антисептики сделаны на основе уайт-спирита и других похожих растворителей, повторная обработка этими составами рекомендуется каждые 4 года. Маслянистые антисептики очень надёжны и долговечны, однако крайне неприятно пахнут и для жилых построек не подходят. Битумные антисептические пасты образуют устойчивое высокопрочное покрытие, обеспечивающее сохранность древесины на долгие годы.

Наилучший способ для защиты древесины от гниения – пропитка брёвен антисептической битумной пастой в специальных камерах под давлением. Пропитанная таким образом древесина служит 20 лет и более.

На кафедре «Охрана труда и природы» Ярославского государственного технического университета была испытана возможность приготовления антисептической битумной пасты на основе битумной пасты с применением в качестве эмульгатора твердого отхода установки центрифугирования ловушечной нефти и антисептика - фтористого натрия. Антисептическая битумная паста получилась однородная, сметанообразной консистенции, чёрного цвета с металлическим отливом, крупных включений битума не наблюдали. Установлено, что антисептическая паста на основе отхода обладает хорошими антисептическими свойствами и может быть использована для защиты древесины от гниения.

## **ИЗУЧЕНИЕ ЗАГРЯЗНЁННОСТИ НЕФТЕПРОДУКТАМИ РАЗЛИЧНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ**

**К.А. Никанорова, Н.Л. Гурылёва, С.Д. Тимрот**

Научный руководитель – С.Д. Тимрот, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Проблема загрязнения окружающей среды нефтепродуктами была и остается одной из наиболее актуальных проблем охраны окружающей среды. Промышленные стоки, стоки с автотранспорта и аварии при нефтедобыче приводят к загрязнению окружающей природной среды.

Неблагоприятное воздействие нефтепродуктов негативно сказывается не только на окружающей среде, но и на здоровье человека. В присутствии нефтепродуктов вода приобретает специфический вкус и запах, изменяется ее цвет, рН, ухудшается газообмен с атмосферой.

Целью данной работы является изучение содержания нефтепродуктов в различных водных объектах, а также сравнение полученных значений с требованиями СанПиН 2.1.4.1074-01. «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества».

Согласно СанПиН 2.1.4.1074-01 суммарное содержание нефтепродуктов в питьевой воде не должно превышать 0,1 мг/л. В работе были исследованы образцы с использованием «Флюорат-02». Метод флуоресцентного анализа отличается высокой точностью и чувствительностью измерения, избирательностью. В исследуемых образцах содержание нефтепродуктов оказалось меньше ПДК, в то время как у образцов воды из реки Которосль и талой воды наблюдается превышение ПДК.

Интересно отметить, что наибольшее колебание содержания нефтепродуктов наблюдается в пробах талой воды из снега, отобранных в различных районах Ярославля. Наиболее эффективный способ удаления микроколичеств нефтепродуктов является использование бытовых фильтров для питьевой воды, которые позволяют снизить содержание нефтепродуктов приблизительно на один порядок. Кипячение воды практически не влияет на содержание микроколичеств нефтепродуктов.

Установлено, что флуориметрический метод позволяет эффективно оценить содержание нефтепродуктов в различных водных объектах.



**ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЕРДОГО ОТХОДА  
УСТАНОВКИ ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЯ ЛОВУШЕЧНОЙ НЕФТИ  
ПРЕДПРИЯТИЯ ОАО «СЛАВНЕФТЬ-ЯНОС»**

**А.С. Черная, А.Ю. Визгин, Н.Л. Гурылёва, С.Д. Тимрот**

Научные руководители - С.Д. Тимрот, канд. техн. наук, доцент;

Н.Л. Гурылёва, канд. техн. наук, ст. преподаватель

*Ярославский государственный технический университет*

Проблема повышения экологической безопасности и эффективности при обращении с нефтесодержащими отходами (нефтешламами) актуальна практически в каждом нефтедобывающем регионе России. Эффективное решение проблемы переработки и утилизации нефтяных отходов во многом связано с активной инновационной деятельностью, с необходимостью внедрения новых дорогостоящих технологий и оборудования.

Объектом исследования в данной работе являлся нефтяной шлам (3 класс опасности) – твердый отход установки центрифугирования ловушечной нефти предприятия ОАО «Славнефть-ЯНОС» г. Ярославль.

В ходе проведенных исследований был установлен состав анализируемого нефтесодержащего отхода и сделано предположение о возможности использования твердого отхода установки центрифугирования ловушечной нефти в качестве эмульгатора при производстве битумных паст для дорожного строительства. Битумные пасты – это вязущий материал альтернативный классически используемому битуму, позволяющий выполнять дорожно-строительные и ремонтные работы более технологичными способами, проводить их при неблагоприятных погодных условиях, значительно улучшить качество дорожных покрытий, продлить сезон дорожно-строительных работ на 1,5-2 месяца.

Был получен ряд битумных паст различного состава с применением в качестве твердого эмульгатора нефтешлама, для которых были определены устойчивость, однородность и условная вязкость. Пасты с применением в качестве твердого эмульгатора отхода установки центрифугирования ловушечной нефти, имеют высокую стабильность и однородность, образуют при высыхании устойчивую пленку битума, покрывающую минеральный материал. Испытание паст на сцепление с минеральным материалом показало, что паста обладает высокой адгезией.

Применение данной технологии позволит утилизировать опасные нефтесодержащие отходы в товарный продукт, снизить загрязнение окружающей среды и улучшить экологическую обстановку в регионе.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
КИСЛЫХ ГУДРОНОВ СТАРЫХ ПРУДОВ-НАКОПИТЕЛЕЙ  
НПЗ им. Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА**

**И.М. Янин, С.Д. Тимрот, Н.Л. Гурылёва**

Научные руководители – С.Д. Тимрот, канд. техн. наук, доцент;

Н.Л. Гурылёва канд. техн. наук, ст. преподаватель

*Ярославский государственный технический университет*

До сих пор нет эффективного метода утилизации кислого гудрона, который является отходом второго класса опасности. В настоящее время на НПЗ им. Д.И. Менделеева» накоплено около 200 000 тонн кислого гудрона, который представляет опасность загрязнения бассейна Верхне-Волжского региона. Сложный химический состав кислых гудронов, их способность изменять свой химический состав и свойства под воздействием внешних факторов, высокая реакционная способность и коррозионная активность не позволили до настоящего времени создать универсальный способ их утилизации и переработки.

Одним из последних вариантов использования методов нейтрализации является переработка кислых гудронов на установке «Бомаг» применением в качестве нейтрализующего агента негашеной извести. Использование этого способа на НПЗ им. Д. И. Менделеева выявило ряд существенных недостатков. Первый – высокая стоимость переработки, второй – получающийся продукт не является достаточно инертным, содержит водорастворимые соединения, не находит практического применения и просто складывается в освобожденные пруды-накопители.

Целью работы являлось изучение физико-химических свойств проб кислых гудронов в старых прудах-накопителях, отобранных с разной глубины.

Было установлено, что глубинный кислый гудрон значительно отличается по своим свойствам от гудронов верхнего слоя, ранее исследованных в работах. В частности они имеют высокую вязкость, которая незначительно изменяется с увеличением температуры. Определены кислотное число отхода методом неводного потенциометрического титрования, содержание воды по Дину-Старку и содержание углеводородной части. На основании полученных данных разработаны направления поиска путей его переработки и утилизации.

## **ПОЛУЧЕНИЕ МАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА**

**Ю.С. Крылова, Н.С. Яманина**

Научный руководитель – Н.С. Яманина, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

В настоящее время в различных отраслях промышленности существует потребность в магнитотвердых материалах. Они обладают рядом преимуществ: коррозионной стойкостью, механической прочностью, большой величиной удельного электросопротивления, устойчивостью к размагничиванию магнитным полем и температурным воздействиям.

Магнитные материалы широко используются в промышленности бытовых электроприборов, производстве игрушек, дверных амортизаторов, автоматических дверных переключателей, таймеров.

Работа является актуальной, так как для получения магнитных материалов предлагается использовать отходы производства (хлорид бария – отход ванн закаливания и металлическую стружку – отход металлообработки).

Получение магнитных материалов проводили электрохимическим методом. В процессе работы исследовались условия получения магнитных материалов с использованием отходов производства. Эксперименты проводили при напряжении 10 и 20 В в течение 5, 10, 15 и 20 минут, массовая доля хлорида бария в растворе электролита составляла 0,6 и 0,9 процента (температура раствора – 83-87 °С, pH = 8).

В результате исследований получили порошки разных цветов, от серых до темно коричневых. Исследование магнитных свойств полученных порошков определяли на вибрационном магнитометре. Результаты показали, что образцы серого цвета имеют намагниченность насыщения значительно меньше, чем образцы коричневого цвета. Был проведен рентгеноструктурный анализ некоторых порошков. По данным анализа можно сделать вывод, что полученный магнитный материал является магнетитом.

Внедрение предлагаемой технологии позволит решить экологические задачи (утилизируются опасные отходы), и экономические (расширяется ассортимент дешевого доступного сырья для производства магнитных материалов, снижается их себестоимость).

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОИНДИКАЦИИ  
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МОНИТОРИНГА  
СОСТОЯНИЯ КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

**М.С. Сорокина, Н.С. Яманина**

Научный руководитель – Н.С. Яманина, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Бурное развитие энергетики, машиностроения, химической промышленности, транспорта привело к истощению природных ресурсов, загрязнению биосферы отходами производства, разрушению природных экосистем, изменению структуры поверхности Земли, изменению климата. Одной из причин ухудшения состояния здоровья человека являются неблагоприятные изменения окружающей среды. Вот почему изучение состояния окружающей среды становится актуальным.

В представленной работе подробно рассмотрен биологический мониторинг, который осуществляется с помощью биотестов и биондикаторов.

Цель работы: провести мониторинг состояния окружающей среды в населённом пункте д. Кузнечиха Ярославского района Ярославской области методом оценки экологического состояния древесных пород по асимметрии листьев. Поскольку одним из наиболее распространенных видов деревьев средней полосы Евразии являются березы, в качестве основного объекта для изучения в рамках данной работы был использован один из ее видов: берёза повислая, или бородавчатая (*Betula pendula* Roth.)

В процессе работы были определены площадки для сбора листьев. На площадке выбирали средневозрастные растения, находящиеся приблизительно в одинаковых условиях по освещению, диаметр ствола около 25-30 см. Листья собирали с 5 близко растущих деревьев из нижней части кроны, по 20 листьев с каждого дерева, всего – 100 листьев с одной площадки. Поврежденные листья для исследования не брали. С каждого листа сняли показатели для расчета уровня ассиметричности.

Результаты исследований показали, что уровень антропогенного воздействия зависит от близости федеральной автотрассы Москва-Архангельск, проходящей через д. Кузнечиха. В настоящее время проводится расширение трассы. В связи с этим поток автотранспорта усилится, уровень загрязнения будет возрастать. Для снижения негативного эффекта необходимо использовать различные формы живых изгородей.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ГУМИНОВОЙ КИСЛОТЫ

**А.О. Округина, Е.Л. Никитина**

Научный руководитель - Е.Л. Никитина, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

В настоящее время во всем мире резко возрос интерес к удобрениям гуматного типа, т.к. гуминовые соединения являются физиологически активными веществами, регулируют и интенсифицируют обменные процессы в растениях и почве. Основным сырьем для получения гуминовых веществ являются торф и бурые угли. Гуминовые кислоты в таком сырье представлены в виде высокомолекулярных нерастворимых в воде фракций. Основная масса гуминовых кислот находится в почве в связанном состоянии и не растворима в воде. Поэтому активатором органического вещества торфа в лабораторных условиях являлись водные растворы щелочей и аммиака, из которых извлекались гуминовые вещества. Выделение гуминовой кислоты из жидкой фазы производили при подкислении минеральной кислотой до  $pH = 2$ .

Известно, что химическая структура гуминовых кислот торфа до настоящего времени полностью не определена, поэтому в качестве метода анализа использовали ИК-спектроскопию в интервале значений частоты от  $500-4000\text{ см}^{-1}$ .

Установлено, что максимальная интенсивность полос поглощения в спектре гуминовых кислот свидетельствует о наличии карбоксильных групп и ароматических фрагментов. Относительное содержание алифатических связей по отношению к ароматическим и кислородсодержащим фрагментам значительно меньше. Число кислородсодержащих групп выше числа алифатических С-Н связей. В целом для гуминовых кислот процесс дегидратации макромолекул превалирует над процессом деалкилирования. У гуминовых кислот есть каркасная часть – ароматический углеродный скелет, замещенный функциональными группами. Среди заместителей преобладают карбоксильные, гидроксильные, метоксильные и алкильные группы. Благодаря карбоксильным, гидроксильным, карбонильным группам и ароматическим фрагментам гумусовые кислоты вступают в ионные, донорно-акцепторные и гидрофобные взаимодействия. Гуминовые вещества способны связывать различные классы экотоксикантов, образуя комплексы с тяжелыми металлами и органическими веществами, смягчающих действие загрязнений на живые организмы.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СВЕРТЫВАЕМОСТЬ ТРОМБОЦИТОВ**

**А.Ю. Сачкова, Е.Г. Рачков**

Научный руководитель - В.В. Макарьин, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Актуальной проблемой физиологии и медицины является изучение реакции организма на воздействие экстремальных факторов, таких как магнитные (МП) и электромагнитные поля (ЭМП). Интенсивные электромагнитные поля вызывают у людей нарушение общего функционального состояния организма, центральной нервной и сердечно-сосудистой систем, а также изменение состава крови. Наибольшее число случаев патологии приходится на опухоли кроветворных тканей и на лейкоз в частности. Поэтому в этой работе было проведено исследование воздействия магнитного поля на общие показатели крови, где выяснилось, что магнитное поле влияло только на содержание эозинов и тромбоцитов.

Целью работы явилось изучение воздействия магнитных полей на свертываемость тромбоцитов. Таких исследований ранее не проводилось.

Исследование состояло из 2-х этапов. В первом этапе, с помощью прибора, разработанного специалистами ЯГТУ совместно с учеными ЯГМА, производилась регистрация кардиоинтервалов сердца человека с последующим отбором испытуемых по 5-ти группам по отношению к действию магнитного поля. Это магнитноустойчивые, магнитноположительные, магнитноотрицательные, магнитнолабильные 1-го типа и магнитнолабильные 2-го типа. Испытуемыми являлись студенты ЯГТУ в возрасте от 20 до 23 лет, которые не имели серьезных заболеваний.

В этом этапе исследования выяснилось, что большинство студентов являлись магнитноотрицательными (64 %), остальные магнитноположительными (18 %), магнитнолабильными 1-го типа 9 % и магнитнолабильными 2-го типа (9 %).

Второй этап наших исследований проводился в лаборатории «Мединком» при ЯГМА. У испытуемых осуществлялся анализ крови на свертываемость тромбоцитов. Для отделения плазмы, богатой тромбоцитами кровь донора центрифугировалась 2 раза и направлялась в агрегометр, где регистрировался процесс агрегации тромбоцитов в виде графика. Из исследований выяснилось, что у магнитноотрицательных представителей показатель агрегации тромбоцитов под действием магнитного поля уменьшался, у магнитноположительных представителей увеличивался, у магнитноустойчивых – практически не изменялся. Полученные данные, возможно, помогут ответить на вопрос о механизме действия МП на живые организмы и их кроветворные органы.

## **ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ ФЕНОЛА В АППАРАТЕ С МАГНИТО-КИПЯЩИМ СЛОЕМ**

**Ю.Н. Дорошенко, А.В. Шевелёв**

Научный руководитель – А.В. Шевелёв, ассистент  
*Ярославский государственный технический университет*

Фенол – один из наиболее токсичных загрязнителей гидросферы. Несмотря на то, что существует ряд способов по очистке сточных вод от фенола, данная проблема не является окончательно решённой, в связи с большими ресурсными и энергетическими затратами. Поэтому поиск всё новых способов водоочистки по-прежнему актуален.

Объектом исследования в данной работе являлись модельные растворы фенола с концентрацией, аналогичной сточным водам. В ходе проведённых исследований была проведена очистка воды от фенола традиционным барботажным способом (кислородом воздуха) и с использованием магнитно-кипящего слоя. Проведено сравнение скорости и степени очистки воды в зависимости от используемых способов.

Был проведен опыт с применением перекиси водорода в качестве окислителя при использовании механического перемешивания. Однако из-за влияния атомарного кислорода и пероксида на реактивы, используемые при определении фенола, остаточную концентрацию его в воде определить не являлось возможным. Традиционные окислители фенола, такие как бихромат калия, в данном эксперименте не использовались, так как остаточный шестивалентный хром является сильным загрязнителем и требует дополнительной очистки.

Эксперимент по окислению фенола кислородом воздуха проводился традиционным барботажным способом и в магнитно-кипящем слое. Было установлено, что концентрации зависят от расхода воздуха, и наиболее эффективно окисление идет при расходе воздуха равно 100 л/ч. В результате барботажа концентрация фенола снижается, но медленно и не достигает значения ПДК<sub>р.х.</sub> (0,001 мг/л). При проведении эксперимента в магнитно-кипящем слое концентрация фенола быстро снижается не только до значений ПДК<sub>р.х.</sub>, но и до полного его исчезновения из анализируемого раствора. Это объясняется рядом эффектов, возникающих при обработке воды, таких как кавитация, магнитострикция, высокие локальные давления и температурные микровспышки. Всё это оказывает существенное влияние на скорость химических и физико-химических процессов.

Применение магнитно-кипящего слоя позволяет значительно ускорить процесс очистки сточных вод от фенола с снижением энерго- и ресурсозатрат.

## СЕКЦИЯ «МАШИНОСТРОЕНИЕ»

УДК 621.7-5

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ИНСТРУМЕНТА ПО ОБРАБОТКЕ ВНУТРЕННИХ КОМБИНИРОВАННЫХ КОНИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

**С.А. Акимов, К.А. Украженко**

Научный руководитель – К.А. Украженко, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

В современном машиностроении существует проблема в обработке сложнопрофильных и труднообрабатываемых поверхностей. Для их изготовления требуется универсальный высокопроизводительный инструмент.

Целью данной работы является совершенствование данного инструмента заключающееся в:

1. Замене напайных режущих элементов на СМП (сменные многогранные пластины);
2. Повышении жесткости инструментальной системы;
3. Реализации результатов работы.

Переход на СМП связан с повышением точности и производительности обработки, за счет стабильной геометрии режущей части, долговечности корпуса резцедержателя, быстросменности режущих пластин.

Основными факторами, влияющими на качество в процессе обработки являются: износ инструмента; тепловые деформации в зоне обработки и жесткость технологической системы СПИЗ (станок-приспособление-инструмент-заготовка).

Данный инструмент содержит значительное количество соединительных поверхностей, в соединении которых могут возникать упругие перемещения, которые влияют на точность обработки и требуют определенного исследования.

Для достижения необходимого качества в частности точности обработки требуется решить проблему жесткости в сопрягаемых поверхностях: режущая пластина-гнездо, резцедержатель-корпус, корпус-шпиндель станка. Для этого был произведен анализ и выбор необходимых аналитических зависимостей по определению упругих перемещений в сопрягаемых поверхностях.

В результате проведенной работы разработан инструмент для обработки комбинированных конических поверхностей в детали седло клапана головки блока цилиндров.

Данная работа позволяет повысить качество и производительность обработки сложнопрофильных поверхностей используемых в различных деталях авиационной и автомобильной промышленности.



## **ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ В СРЕДЕ AUTODESKINVENTOR 2014**

**Е.В. Александрова, О.Н. Калачев**

Научный руководитель – О.Н. Калачёв, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

Технологическая подготовка производства включает в себя не только подготовку оборудования, но и разработку качественного технологического процесса. Геометрические связи, называемые в технологии машиностроения размерными, изображают в виде размерных цепей. Закономерности выявления и построения этих связей, а также правила и методику их расчёта рассматривает теория размерных цепей.

Различают размерные цепи линейные, плоские и пространственные, в которых размеры расположены в разных плоскостях. Решение размерной цепи заключается в определении номинала и допуска замыкающего звена. Для построения размерной схемы линейных цепей может быть использована система GraKON в среде AutoCAD.

При решении пространственной размерной цепи без использования средств автоматизированного проектирования в 3D сложно правильно рассчитать замыкающее звено.

Для проектирования деталей и сборок активно используется программный продукт «AUTODESKINVENTOR 2014», однако в его среде не предусмотрен размерный анализ. Российская система «КОМПАС» компании «АСКОН» включает в себя библиотеку расчета конструкторских размерных цепей, с её помощью можно решать только обратную задачу, когда по известным значениям номинальных размеров, допусков, предельных отклонений составляющих звеньев, определяются номинальный размер, допуск и предельные отклонения замыкающего звена. Прямая задача, которая и является более сложной, в данной библиотеке не рассмотрена.

Из этого следует, что для автоматизации проектирования технологического процесса необходимо создать модуль, позволяющий решать размерные цепи в рамках программного продукта «AUTODESKINVENTOR 2014».

Разрабатываемый модуль представляет собой надстройку (динамически подключаемую библиотеку), загружаемую вместе с AUTODESKINVENTOR 2014 и функционирующую в пространстве детали.

По результату работы описанный модуль формирует выходной файл с данными, который в дальнейшем используется в ранее созданной на кафедре КИ ТМС ЯГТУ программе KON7.

**СОЗДАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ИЗДЕЛИЯ  
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ПОСЛЕПРОДАЖНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОДУКТА CORTONA3D**

**В.М. Бабоченко, О.Н. Калачев**

Научный руководитель – О.Н. Калачев, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Наличие качественной документации для продукции – один из важнейших факторов, обеспечивающих успех компании и эффективную работу ее клиентов, партнеров и сотрудников. Одной из систем разработки электронной технической документации является Cortona3D RapidAuthor компании Cortona3D, которая является мировым лидером в области разработки 3D-решений для послепродажного обслуживания сложной техники.

Система Cortona3D состоит из следующих модулей: RapidManual, RapidCatalog, RapidLearning, необходимых для выполнения поставленных задач.

В работе рассмотрен модуль RapidManual – редактор процедур, который использует параметрический ввод данных для создания 3D-анимации.

В работе рассмотрены следующие вопросы:

1) Способы загрузки 3D-сборки изделия, созданного в различных CAD/CAM системах. Загрузка может осуществляться с внешних носителей или из баз данных PDM/PLM систем, таких как Teamcenter. Cortona3D автоматически распознает все компоненты сборки. Cortona3D в качестве исходных данных использует инженерные данные различных систем, таких как CATIA, NX, SolidEdge;

2) Создание проекта сборки/разборки в модуле RapidManual. Разборка осуществляется с помощью команд в редакторе процедур, результат выполнения можно видеть в 3D окне;

3) Нанесение текстовых меток на 3D модель, поясняющих ход выполнения процедур;

4) Использование комментариев при создании отдельных примечаний к шагам процедур;

5) Публикация готового проекта в формате .html, это дает возможность пользователям просматривать проект через браузер;

Таким образом, использование созданных в Cortona3D 3D-анимаций позволяет наглядно объяснить сложные технические процедуры и повысить уровень запоминаемости информации.

**ОРГАНИЗАЦИЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОДУКТОВ  
SIEMENS PLM SOFTWARE  
ПРИ КОМПЬЮТЕРНО-ИНТЕГРИРОВАННОЙ  
КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ  
ПРОИЗВОДСТВА**

**Е.Н. Богаткова, О.Н. Калачев**

Научный руководитель – О.Н. Калачев, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

В настоящее время компания Siemens PLM Software является одним из крупнейших поставщиков программных продуктов по управлению жизненным циклом изделия. Практика показала, что использование CAD/CAM/CAE-систем без управления данными посредством PLM/PDM-систем является неэффективным в условиях с повышенными требованиями заказчиков на изготавливаемые многокомпонентные изделия. Именно PLM/PDM-системы решают задачи интеграции разностороннего программного обеспечения и использования в работе форматов данных, предоставляя пользователю их в готовом для использования структурированном виде.

В работе рассмотрены особенности работы в системах NX 8.5 (CAD/CAM/CAE-система) и Teamcenter (PLM/PDM-система):

1 Представление данных в Teamcenter на примере детали «Корпус масляного насоса 2Д50.12-4.001». Teamcenter имеет информационную модель данных, основным объектом которой является объект «Изделие», или в оригинале «Item».

2 Осуществление поиска изделий по различным критериям в базе данных Teamcenter.

3 Работа с приложениями «Мой Teamcenter», «Менеджер структуры» и «Обзор отношений» в Teamcenter на примере «Корпуса масляного насоса».

4 Создание набора данных в Teamcenter, их типы.

5 Интеграция Teamcenter с CAD/CAM/CAE-системой NX 8.5.

6 Особенности работы в NX 8.5 под управлением Teamcenter.

7 Доступ к базе данных Teamcenter из NX 8.5 с помощью вкладки «Навигатор Teamcenter».

8 Возможные состояния объектов в Teamcenter.

В заключение следует отметить, что совместное использование программных продуктов NX и Teamcenter значительно сокращает сроки конструкторско-технологической подготовки, повышает взаимодействие между различными подразделениями благодаря использованию единого источника данных об изделиях и процессах, обеспечивает надежность и безопасность хранения общих данных.

## **РАЗРАБОТКА МОДУЛЬНОЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКОВ**

**А.Ю. Егоров, К.А. Украженко**

Научный руководитель – К.А. Украженко, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Инструментальная система является одним из основных элементов технологической системы СПИЗ (станок – приспособление – инструмент – заготовка) так как от нее в значительной степени зависят качество, производительность и себестоимость механообработки.

Целью работы является разработка новых модульных инструментальных систем для повышения точности и производительности обработки на многоцелевых станках (МС).

Инструментальные системы для многоцелевых станков (МС) должны обладать высокой жесткостью, надежностью, виброустойчивостью и быстросменностью.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- Анализ жесткости инструментальных систем для МС;
- Разработка устройств соединений с необходимыми элементами, обеспечивающими необходимую жесткость и надежность;
- Реализовать результаты работы путем создания новой инструментальной системы.

В результате проведенного аналитического обзора научно-технической литературы было выяснено, что наибольшей жесткостью обладают соединения типа «конус-торец», поэтому для данной разработки использовано устройство соединения модулей (патент РФ №2268107). Устройство состоит из базового и присоединяемого модулей, а также присоединительного элемента в виде шпильки и резьбового затяжного элемента.

При соединении базового и присоединяемого модулей происходит выбор зазоров в конических сопрягаемых поверхностях. Необходимый натяг создается за счет того, что один из концов шпильки с углом конусности резьбовой поверхности  $\approx 1^\circ$  сопрягается по резьбовой поверхности с резьбовым отверстием присоединяемого модуля.

Надежность стопорения соединения создается резьбовым затяжным механизмом в процессе сборки.

Крутящий момент передается шпонками, которые рассчитываются в зависимости от максимального значения крутящего момента. Для равномерного распределения нагрузки и балансировки устанавливаются две шпонки.

Данная разработка позволяет создать жесткое и надежное соединение, которое можно использовать для всех видов многоцелевых станков (МС).

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ**

**Д.С. Егоров, А.В. Оборин**

Научный руководитель – А.В. Оборин, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Актуальной проблемой на производстве в настоящее время является обеспечение заданного качества и высокой производительности процесса шлифования. Недостатками традиционных методов шлифования при обработке являются: невозможность получения поверхностей требуемого качества как по геометрическим, так и по физико-механическим характеристикам, низкая производительность обработки.

Для решения проблемы обработки тяжело-нагруженных деталей, для которых актуально высокое качество поверхностного слоя, предлагается использовать метод магнитно-абразивной обработки (МАО).

Сущность магнитно-абразивной обработки состоит в удалении припуска преимущественно абразивным способом с созданием магнитного поля непосредственно в зоне резания. Роль магнитного поля заключается: в формировании из магнитно-абразивного порошка абразивного инструмента (АИ) и в удержании этого порошка в зоне резания; в создании силы резания.

После МАО повышается твердость поверхности, в тонком (до 5 мкм) поверхностном слое действуют остаточные напряжения сжатия. Эти поверхности отличаются повышенной износостойкостью, коррозионной стойкостью, контактной долговечностью, а деталь и ее материал — повышенной циклической долговечностью и ударной вязкостью.

Предлагается устройство для обработки опорных шеек или кулачков распределительного вала. МАО поможет значительно увеличить качество поверхности опорных шеек или кулачков вала.

Опорные шейки помещаются в специальные камеры, которые заполняются абразивным порошком. Порошок приводится в движение магнитным полем, создаваемым электромагнитами расположенными по бокам камеры. Вращающийся порошок будет равномерно снимать металл не нарушая геометрии изделия. Этому будет способствовать форма камеры.

Результатом использования МАО является повышение производительности в 4 – 5 раз по сравнению с традиционными методами шлифования, так как обработка происходит сразу по всей площади детали; снижение расходов на инструмент, так как стоимость абразивного порошка ниже чем стоимость шлифовальных кругов и он дольше сохраняет свои эксплуатационные качества; повышение качества выпускаемого продукта, так как поверхность детали после обработки будет равномерно упрочнена.

**РАЦИОНАЛЬНОЕ НАЗНАЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ КОНЦЕВЫМИ ФРЕЗАМИ  
С НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫМ ПОКРЫТИЕМ,  
ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЕ ЗАДАНИЕ ПАРАМЕТРЫ КАЧЕСТВА  
ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ**

**М.С. Елкин, В.Ф. Безъязычный**

Научный руководитель - В.Ф. Безъязычный, д-р техн. наук, профессор  
*Рыбинский государственный авиационный технический  
университет им. П.А. Соловьева*

Чаще всего технологические проблемы концентрируются в областях машиностроения, находящихся на грани научного прогресса. К таким областям относятся авиа- и ракетостроение.

Специфика авиадвигательного производства обуславливает совокупность противоречивых требований, предъявляемых к деталям, что приводит к повышенной сложности изготовления. Стоит отметить значительное влияние качества поверхностного слоя деталей на их эксплуатационные характеристики. Зачастую требуются именно заданные параметры качества.

На эксплуатационные характеристики деталей негативно влияют не только чрезмерное увеличение шероховатости, глубины и степени наклепа поверхностного слоя, но и их уменьшение.

На данный момент по экономическим и техническим показателям механическая обработка лезвийным инструментом является одним из главных формообразующих методов получения деталей. Обеспечение параметров качества достигается за счет введения доводочных операций, что увеличивает трудоемкость. Разработка комплексных зависимостей, связывающих параметры обработки концевыми фрезами с наноструктурированными покрытиями на входе и параметры качества поверхностного слоя на выходе, позволит снизить, а в некоторых случаях исключить долю доводочных операций.

Имеются работы, посвященные изучению влияния режимов обработки на отдельные параметры качества поверхностного слоя деталей, а также работы, направленные на поиск оптимального соотношения обрабатываемый материал–покрытие.

Однако отсутствуют работы, связывающие параметры качества поверхностного слоя и технологические условия обработки в единый комплекс для концевой фрезеровки. Комплексный учет влияния условий концевой фрезеровки на параметры качества поверхностного слоя деталей с учетом наноструктурированного покрытия, позволит объединить операцию лезвийной обработки и доводочную в единый комплекс, что приведет к значительному снижению затрат без снижения качества готовой детали.

## **ЗАКРЕПЛЕНИЕ ИЗДЕЛИЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКЕ. СОСТАВ ЗАЖИМНЫХ УСТРОЙСТВ**

**Я.С. Астафьева, И.Н. Ергин, А.А. Малов**

Научный руководитель – А.А. Малов, ст. преподаватель  
*Ярославский государственный технический университет*

В машиностроении применяется гамма приспособлений с различными способами закрепления изделий и различных составах зажимных устройств. Возникает необходимость рассмотрения их конструкций и их применения в практике.

Способ закрепления изделия выбирается одновременно с выбором схемы его базирования в технологической оснастке, причем сначала решается вопрос об обеспечении схемой базирования заданной точности получаемого размера, а уже затем определяются основные параметры силы зажима, ее направление и место приложения.

Контакт изделия с базирующими элементами оснастки ставит его в определенное положение, которое не должно изменяться в процессах приложения к нему силы зажима и при его обработке. Само изделие не должно деформироваться силами закрепления в направлении получаемого при обработке размера. Первое из перечисленных требований удовлетворяется рациональным выбором направления и точек приложения усилия зажима. Второе - конструкцией зажимного устройства. Третье - величиной усилия зажима, направлением и точкой приложения усилия зажима.

Любое зажимное устройство состоит обычно из следующих частей:

- элемент, получающий исходное усилие;
- элемент, находящийся в контакте с деталью;
- механизм, преобразующий исходное усилие в зажимное.

Наличие первых двух элементов, так или иначе конструктивно оформленных, является обязательным. Механизм же может быть простым, сложным (состоящих из нескольких простых) или вообще отсутствовать, например, может передаваться пружиной или штоком поршня гидроцилиндра.

Рассмотрены способы закрепления изделий технологической оснасткой и состав зажимных устройств.

## **РАЗРАБОТКА РЕВОЛЬВЕРНОЙ ГОЛОВКИ С ПРИВОДОМ ВРАЩЕНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

**Н.Е. Ефимова, В.В. Михрютин**

Научный руководитель – В.В. Михрютин, канд. техн. наук, доцент

*Рыбинский государственный авиационный технический  
университет им. П.А. Соловьева*

В современном машиностроении широкое применение находят токарные обрабатывающие центры, оснащенные револьверными головками с приводным инструментом. Такие устройства серийно выпускаются рядом зарубежных производителей (Sauter, Duplomatic, Baruffaldi, PibomultiS.A.) и могут использоваться в конструкциях как инновационного, так и модернизируемого оборудования. В данном случае реализуется модульный подход к созданию оборудования, считающийся достаточно перспективным. В то же время ряд ведущих станкостроителей (MoriSeiki, Index) ведут собственные разработки револьверных головок для многокоординатных обрабатывающих центров.

На основе проведенного обзора предложено устройство револьверной головки в которой устранены ряд недостатков известных конструкций-аналогов.

Привод вращения револьверного диска построен по хорошо зарекомендовавшей себя надежной схеме с приводом поворота через редуктор и последующую фиксацию с использованием зубчатых муфт. Вращение от электродвигателя передается на револьверный диск через редуктор, содержащий две понижающие прямозубые зубчатые передачи. Это позволяет снизить необходимый приводной момент на валу двигателя и обеспечивает достаточно высокое быстроедействие при смене инструмента.

Разработана конструкция включения инструмента в кинематическую цепь, которая при его смене не требует синхронизации положения вала привода и шпинделя инструментального блока. В качестве приводного электродвигателя выбран асинхронный электродвигатель с принудительным воздушным охлаждением.

Ввиду отсутствия подвижных деталей конструкция включения привода по сравнению с базовыми устройствами упрощается. Узел приводного вала инструмента позволяет при необходимости производить смену приводного ремня без его разборки.

Предложенная конструкция револьверной головки совмещает в себе достоинства известных конструкций и обладает рядом новых признаков, что дает возможность использовать ее в качестве основы для опытных конструкторских работ, проводимых в рамках программ по созданию импортозамещающей продукции.



## **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ РЕВОЛЬВЕРНЫХ ГОЛОВОК ТОКАРНЫХ ОБРАБАТЫВАЮЩИХ ЦЕНТРОВ**

**Н.Е. Ефимова, В.В. Михрютин**

Научный руководитель – В.В. Михрютин, канд. техн. наук, доцент

*Рыбинский государственный авиационный технический  
университет им. П.А. Соловьева*

Современное машиностроение характеризуется широким применением деталей в форме тел вращения, имеющих в своей конструкции различные дополнительные элементы, например, пазы, многогранные поверхности и отверстия, ось которых не совпадает с осью вращения заготовки. Для изготовления таких деталей в настоящее время применяют станки – токарные обрабатывающие центры, способные наряду с токарной обработкой выполнять ряд дополнительных операций механической обработки, например, фрезерование и сверление. Для проведения операций дополнительной механической обработки токарные обрабатывающие центры оснащаются дополнительными шпиндельными головками, либо револьверными головками с приводом вращения инструмента.

Выполнен обзор и анализ научно-технической и патентной литературы, в результате которого выбраны наиболее перспективные конструкции, которые целесообразно использовать в качестве аналогов при проведении конструкторских разработок.

Наиболее распространены решения с приводом вращения инструмента через систему зубчатых передач. Их недостатком является повышенные нагрев, вибрации и шум.

Револьверные головки с прямым приводом используют дорогостоящие электродвигатели с принудительным охлаждением, что значительно повышает стоимость конструкции и требует использования дополнительных холодильных устройств.

Револьверные головки с приводом вращения инструмента, использующие передачу зубчатым ремнем, характеризуются закреплением револьверного диска на полом валу, через отверстие в котором проходят ветви ремня, передающего вращение на приводной шкив.

Проведенный обзор показал, что направление совершенствования конструкций револьверных головок за счет применения приводов зубчатым ремнем в настоящее время интенсивно развивается, следовательно разработка конструкции револьверной головки с приводом вращения инструментов зубчатым ремнем является актуальной. При разработке конструкции необходимо уделить особое внимание расширению технологических возможностей и удобству замены приводного ремня без проведения разборок подшипниковых узлов приводного шкива.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОДЕФЕКТОВ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ГАЛТЕЛЕЙ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА ЯМЗ-240

Д.Е. Жуков, А.С. Букатый

Научный руководитель – А.С. Букатый, канд. техн. наук  
*Ярославский государственный технический университет*

Коленчатый вал двигателя ЯМЗ-240 является одной из наиболее ответственных деталей четырехтактного V-образного дизельного двигателя, спроектированного для карьерных самосвалов, тяжелой автомобильной и строительной техники. Наиболее нагруженными элементами коленчатого вала являются коренные и шатунные шейки. Высокие нагрузки, передаваемые коленчатым валом, приводят к развитию микродефектов в области галтелей и последующему разрушению детали (рисунок 1). Мероприятия по повышению выносливости коленчатого вала направлены на создание



Рисунок 1 – Галтель шатунной шейки коленчатого вала

сжимающих остаточных напряжений в области галтелей. Упрочнение галтелей осуществляется путем обкатки роликами. Применение данного метода упрочнения позволяет повысить предел выносливости в 1.5 – 2 раза, однако приводит в ряде случаев к образованию рисок в области галтелей (рисунок 1), которые вносят в напряженно-деформированное состояние (НДС) высоконагруженной детали дополнительную концентрацию напряжений и могут являться источниками развития дефектов. В связи с этим

необходимо производить анализ режимов обкатки с целью выявления источников отказа детали и оптимизации режимов упрочняющей обработки. Для решения поставленной задачи создана конечно-элементная модель коленчатого вала, в которой галтель выполнена в виде объема с дефектом – риской в окружном направлении. Модель позволяет оценить распределение напряжений в области концентратора и выявить возможный очаг развития дефекта. Моделирование в поверхностном слое НДС соответствующего различным режимам упрочняющей обработки позволяет производить оптимизацию режимов обкатки.

## **СПОСОБЫ РЕШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ В ПРОГРАММЕ KON7 С УЧЕТОМ КОЛЕБАНИЯ ПРИПУСКА И НЕСОВПАДЕНИЯ БАЗ**

**Д.А. Калачева, О.Н. Калачев**

Научный руководитель – О.Н. Калачев, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

При проектировании процесса механообработки возникает необходимость расчета технологических размеров, которые затем заносятся в операционную карту. Существуют различные методики автоматизированного расчета, в том числе методика, разработанная на кафедре КИ ТМС ЯГТУ, реализованная в программе KON7. В данной программе автоматически формируются размерные цепи, составляются их уравнения, которые решаются способом – «максимум-минимум». Опытные расчеты в период эксплуатации программы показали, что возможны варианты, при которых припуск на обработку для некоторых звеньев колеблется в весьма широких пределах, что в KON7 никак не учитывается. Между тем, максимальный припуск определяет наибольшую нагрузку на режущий инструмент. Колебания припуска в широких пределах вызовет неравномерные упругие отжатия технологической системы и на практике – проблемы с реализацией рассчитанных допусков на технологический размер. Например, определены узкие допуски технологических размеров, и программу это «устраивает», баланс допусков размерной цепи выдерживается. Однако, в реальности большой максимальный припуск, превышающий минимальный в несколько раз, приведет к непредвиденному отклонению реального технологического размера от теоретического из-за чрезмерных упругих деформаций станочной системы, которые не учитываются при расчете.

Для расширения возможностей программы KON7 необходимо предусмотреть дополнительную оценку максимальных припусков и проверку баланса допусков в цепях с критическим значением отношения максимального припуска к минимальному.

В работе также рассмотрено определение припуска на обработку поверхности, последовательное формирование которой выполняется от разных баз. При этом технологическая база не совпадает с конструкторской (измерительной), и возникает необходимость расчета размерной цепи с припуском, являющимся замыкающим звеном, величина которого определяется точностью размера, входящего в другую цепь.

Решение перечисленных проблем позволит повысить адекватность программы KON7, т.е. приблизить результаты размерных расчетов к реальным производственным условиям.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОСЛЕПРОДАЖНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВИАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ ПОЛОЖЕНИЙ ЛОГИСТИКИ**

**С.С. Калугин, В.Ф. Безъязычный**

Научный руководитель – В.Ф. Безъязычный, д-р техн. наук, профессор  
*Рыбинский государственный авиационный технологический  
университет им. П.А. Соловьева*

Проблема послепродажного обслуживания – интегрированной логистической поддержки приобрела особую актуальность в связи с выходом отечественных производителей авиационной техники гражданской авиации на международные рынки. Иностранные заказчики предъявляют к средствам и системам послепродажного обслуживания российских изделий те же требования, что и к аналогичным изделиям зарубежных фирм.

Понятие интегрированной логистической поддержки охватывает комплекс процессов и процедур, выполняемых в ходе всего жизненного цикла изделия, направленных, преимущественно, на сокращение затрат на послепродажное сопровождение при обязательном обеспечении заданного уровня технической готовности.

Интегрированная логистическая поддержка является связующим звеном между процессами проектирования, производства, технического обслуживания и ремонта авиационной техники и закладывает с этапа проектирования параметры и характеристики, влияющие во многом на показатели технологичности и ремонтпригодности.

Система интегрированной логистической поддержки для авиационных и наземных ГТД должна состоять из следующих элементов:

- анализ интегрированной логистической поддержки;
- определение стоимости технического обслуживания;
- разработку необходимой технической документации;
- разработка процедур мониторинга состояния двигателя;
- создание Web-центра;
- поддержка полевыми представителями;
- обучение специалистов, выполняющих работы по техническому обслуживанию и ремонту (ТОиР) ГТД;
- создание центра поддержки эксплуатанта;
- логистика поставок двигателей и запасных частей;
- отслеживание выполнения гарантийных обязательств;
- создание базы данных;
- разработка и производство оборудования для ТОиР;
- управление конфигурацией двигателя (модернизация).

## СЧПУ В СИСТЕМЕ ГРАФИЧЕСКОЙ ИМИТАЦИИ CNCSWANSOFT

**А.А. Камко, А.А. Кулебякин**

Научный руководитель – А.А. Кулебякин, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Методика написания и проверка управляющей программы (УП) для моделирования обработки заготовки в системах CNC в различных режимах работы, ручном и автоматическом, является актуальной задачей.

Моделирование выполняется в программе CNC SwanSoft, для системы ЧПУ с конкретной моделью станка. Например, для устройства УЧПУ SINUMERIC 802 DT применяется пульт оператора (рисунок 1), позволяющий выполнять запись, редактирование и выполнение управляющей программы на станке с ЧПУ.



Рисунок 1 - Пульт оператора

Программное обеспечение, функционирующее на персональной ЭВМ, например, с ОС WindowsXP и выше, используется в учебном процессе при подготовке инженеров по специальности технология машиностроения, а также для нормирования и оптимизации управляющих программ в конструкторско-технологической подготовке производства.

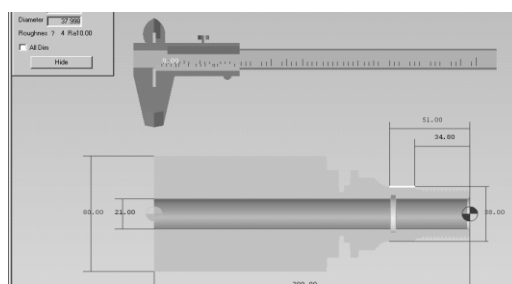


Рисунок 2 - Контроль точности обработки заготовки

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ФИНИШНЫХ ОПЕРАЦИЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ НА МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКАХ**

**А.А. Кизилов, К.А. Украженко**

Научный руководитель – К.А. Украженко, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Финишные операции требуют высокой точности обработки. Такие операции целесообразно выполнять на оборудовании типа «обрабатывающий» центр, которые обладают высокой концентрацией операций, скоростью обработки, степенью автоматизации и гибкостью.

К финишным операциям на МС, прежде всего, относятся расточка точных отверстий. Расточной инструмент, закрепленный в шпинделе станка, испытывает весь спектр напряжений: осевые, изгибные, и крутильные, в результате которых, некоторые инструменты не способны удерживать заданную точность во время обработки. Поэтому для расточки точных отверстий была использована расточная головка (патент РФ № 2042477).

Сущность данной конструкции заключается в том, что инструмент содержит резцовую державку в виде микрометрического винта, на одном конце которого выполнено гнездо для крепления режущих пластин, а на другом – шпонка, взаимодействующая с гнездом оправки. Лимб в виде двух гаек взаимодействует с винтом. Одна из гаек может смещаться относительно другой в осевом направлении, выбирая тем самым зазор. Лимб установлен во втулке с нониусом и фиксируется в ней с помощью канавки стопорного кольца и упругого элемента, выполненного в виде пазов на обрабатываемой лимба, расположенного по обе стороны стопорного кольца.

Такая конструкция имеет преимущество в том, что заданная точность сохраняется в процессе обработки за счет упругих элементов работающих на растяжение-сжатие.

Для того чтобы обеспечить точность обработки точных отверстий, произведен расчет максимальных сил резания, на основе которых обеспечиваются определенные натяги, которые обеспечивают жесткость необходимую для заданной точности.

Учитывая вышеизложенное, можно сделать вывод, что применение расточной головки поможет повысить точность и производительность обработки на многоцелевых станках.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И ПОВЫШЕНИЕ КОНТАКТНОЙ ВЫНОСЛИВОСТИ ШЕСТЕРЕН КОРОБКИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ПЕРЕДАЧ**

**М.С. Корнилов, А.С. Букатый**

Научный руководитель – А.С. Букатый, канд. техн. наук  
*Ярославский государственный технический университет*

Наиболее ответственными деталями, определяющими ресурс коробки переключения передач (КПП), являются зубчатые колеса. Особенности эксплуатации зубчатых колес КПП являются неустановившиеся режимы работы, реверсивность, вибрации. Разрушение зубьев зубчатых колес, как правило, носит усталостный характер (см. рисунок). Основными причинами разрушения при эксплуатации являются усталостное разрушение рабочих поверхностей зубьев, усталостное разрушение зуба при изгибе, торцевой износ зубьев, деформация и выработка зубьев.

В настоящее время для обеспечения надежности и долговечности зубчатых колес КПП применяют различные методы химико-термической обработки (ХТО), такие как закалка ТВЧ, цементация, нитроцементация, азотирование и др. Некачественная ХТО может не только не повлиять на изменение усталостной прочности и износостойкости, но и привести к указанным выше разрушениям, поэтому применение рациональных методов и режимов ХТО является важной производственной задачей.



Исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) зубчатых колес в условиях эксплуатации с учетом различных параметров ХТО является сложной комплексной задачей. Создание модели зубчатого венца, позволяющей задавать параметры и граничные условия, соответствующих различным методам и режимам ХТО осуществляется с использованием метода конечных элементов. Результаты исследований позволят произвести исследование НДС зубчатого колеса с учетом условий эксплуатации при различных методах ХТО и на основе полученных результатов сделать вывод о целесообразности применения метода ХТО а также оптимизировать существующие режимы обработки.

## **ПОВЫШЕНИЕ ВЫНОСЛИВОСТИ ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА С УЧЁТОМ ДЕФЕКТОВ ОТ ПОПАДАНИЯ ИНОРОДНЫХ ТЕЛ В ПРОТОЧНУЮ ЧАСТЬ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

**А.А. Коротков, А.С. Букатый**

Научный руководитель – А.С. Букатый, канд. техн. наук  
*Ярославский государственный технический университет*

К деталям современных авиационных двигателей предъявляются высокие требования по геометрической точности, выносливости и другим параметрам. Данный вопрос осложнён тем, что, помимо нагрузок от стандартных рабочих условий, в проточную часть двигателя попадают инородные тела, приводящие к дефектам в деталях авиационных ГТД.

Решение проблемы осуществляется путём применения конечно-элементного анализа. Первоначальное построение модели происходит в Uigraphics, затем следует импорт и построение конечной элементной модели лопатки в ANSYS. Моделирование забоины производится путём



Рисунок 1 – Повреждения лопаток

решения задачи – внедрение инородного тела в профиль пера лопатки. Дефект моделируется на входной кромке в виде соударения инородного тела с профилем пера лопатки. В качестве граничных условий к лопатке прикладываются центробежные силы, газовые силы, заделка по корневому сечению. В результате расчёта получается напряжённо – деформированное состояние лопатки. В области дефекта наблюдаются высокие растягивающие напряжения, превышающие предел те-

кучности материала лопатки, что свидетельствует о дальнейшем стремительном развитии дефекта и разрушении детали. В связи с этим дальнейшие исследования направлены на разработку и оптимизацию мероприятий по повышению выносливости лопатки с учётом возможных дефектов. Данные мероприятия направлены на образование сжимающих остаточных напряжений в зонах, наиболее подверженных попаданию инородных тел в профиль пера лопатки компрессоров авиационных двигателей. Разработанная модель позволяет проводить исследования напряженно-деформированного состояния лопаток с дефектами от соударения с инородными телами с учетом и без учета сжимающих остаточных напряжений в поверхностном слое детали.



## **ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ УПРОЧНЕНИЯ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА НА ОСНОВЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЕГО НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ**

**В.Э. Костичев, А.С. Букатый**

Научный руководитель – А.С. Букатый, канд. техн. наук  
*Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)*

Разрушение коленчатого вала двигателя ЯМЗ-238 под воздействием высоких знакопеременных нагрузок при его эксплуатации является важной производственной проблемой. Одной из причин разрушения коленчатого вала является рост усталостных трещин в концентраторах напряжений – галтелях коренных и шатунных шеек. Для повышения сопротивления усталости применяют различные методы упрочнения поверхностным пластическим деформированием и химико-термической обработкой, одним из которых является метод обкатки галтелей роликом.

В основе оптимизации режимов упрочняющей обработки лежит моделирование напряжённно-деформированного состояния (НДС) детали, учитывающее воздействие рабочих нагрузок, а также сжимающих ОН, создаваемых в поверхностном слое концентраторов напряжений в процессе обкатки роликом. Основным фактором, влияющим на интенсивность назначаемых режимов упрочнения является минимизация растягивающих напряжений в галтелях коренных и шатунных шеек под воздействием рабочих нагрузок, при этом режимы упрочнения должны обеспечивать геометрические размеры и форму детали в пределах технологических допусков.

Моделирование коленчатого вала производилось в системе конечно-элементного анализа ANSYS/LS-DYNA. Модель представляет собой фрагмент поршневой группы двигателя ЯМЗ - 238 (рисунок 1). Структура поверхностного слоя концентраторов напряжений позволяет моделировать необходимый градиент ОН в зависимости от применяемого метода и режимов упрочняющей обработки. Динамический анализ модели с приложением рабочих нагрузок позволяет сделать вывод о рациональности выбранного режима упрочняющей обработки.

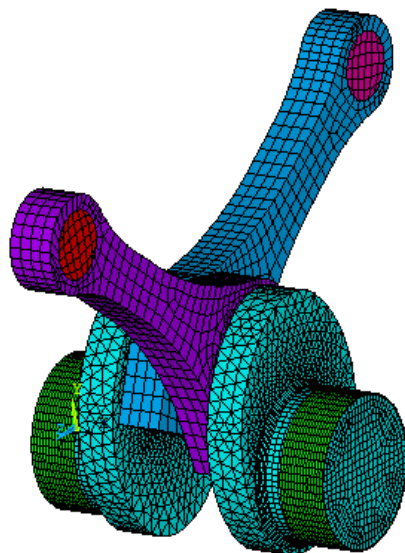
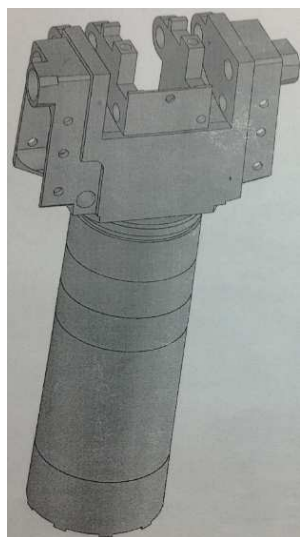


Рисунок 1 - Расчетная модель

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗРЫВНОЙ ВОЛНЫ В ДЕТАЛИ «КОРПУС БЛОКА РАСКЛАДКИ СТАБИЛИЗАТОРА»**

**О.А. Малышев, А.С. Букатый**

Научный руководитель – А.С. Букатый, канд. техн. наук  
*Ярославский государственный технический университет*



Корпус блока раскладки стабилизатора предназначен для обеспечения полета летательного аппарата и представляет собой составную часть сборочной единицы оперения изделия. Корпуса блоков раскладки стабилизаторов являются несущими узлами сборочных единиц, передающими нагрузки от воздействия воздушного потока на корпус изделия. Стабилизаторы воспринимают знакопеременные и вибрационные нагрузки, зависящие от угла поворота, в результате чего возникают усилия, управляющие полетом летательного аппарата по крену, тангожу и курсу. Посредством взрыва пиропатрона в корпусе блока раскладки стабилизатора образуются газообразные вещества, под давлением которых приводится в движение поршень, перемещающий кулисно-рычажный механизм. В результате этого перемещения происходит раскладка стабилизатора. Энергия взрыва оказывает значительное разрушающее воздействие на корпус блока раскладки стабилизатора, в результате чего при проектировании конструкции и технологического процесса необходимо производить предварительный анализ напряженно-деформированного состояния детали под воздействием взрывной волны.

Решение поставленной задачи осуществляется с использованием метода конечных элементов. Модель детали создана в программном пакете Unigraphics, после чего с помощью пакета ANSYS создана конечно-элементная модель и произведено моделирование взрывной волны, создаваемой пиропатроном. Используемые свойства материала соответствуют материалу, применяемому при производстве детали. В качестве граничных условий используется импульсное и тепловое воздействие на корпус блока раскладки стабилизатора, создаваемое взрывной волной. Моделирование рабочих условий, воспринимаемых деталью в процессе работы изделия позволяет произвести расчет распределения напряжений в материале детали и выявить локализацию возможных мест деформирования и разрушения корпуса блока раскладки стабилизатора.

## **ПРИВОДЫ ЗАЖИМНЫХ УСТРОЙСТВ**

**М.А. Масальская, А.А. Малов**

Научный руководитель – А.А. Малов, ст. преподаватель  
*Ярославский государственный технический университет*

Основным назначением силового привода в технологической оснастке является создание силы, необходимой для закрепления заготовки или собираемой детали или для выполнения соединения при сборке, а также для автоматизации загрузки и выгрузки заготовок на станке.

Приводы технологической оснастки, в зависимости от типа используемой энергии, могут быть классифицированы на следующие виды:

1. Ручные.
2. Механизированные
  - 2.1. пневматические (поршневые и диафрагменные);
  - 2.2. гидравлические (механогидравлические, пневмогидравлические, электрогидравлические, чисто гидравлические);
  - 2.3. вакуумные;
  - 2.4. магнитные и электромагнитные;
  - 2.5. электромеханические.

Ручной привод применяется в единичном и мелкосерийном производствах, механизированный - в серийном и массовом.

Применение пневматических узлов ограничено при больших силах из-за габаритных размеров, обусловленных низким давлением воздуха (0,5...0,6 МПа), шумом неплавным переходом штока.

Гидравлические зажимные устройства получили широкое применение, т.к. габариты гидродвигателей (гидроцилиндров) намного меньше пневмодвигателей, поскольку давление в гидросети превышает давление в пневмосети в 10-30 раз и составляет от 4 до 12 МПа.

Вакуумный привод применяется при обработке тонких плоских изделий из неметаллических материалов. Прижим обрабатываемого изделия осуществляется силой атмосферного давления.

Магнитные и электромагнитные приводы применяются при обработке магнитопроницаемых материалов, т.к. закрепление производится энергией магнитного поля постоянных магнитов или магнитного потока.

Электромеханический привод применяется для механизации зажимных устройств при отсутствии в производстве сжатого воздуха и гидросистем, а также в случаях большей экономической эффективности.

В работе рассмотрели различные типы приводов зажимных устройств и определили их критерии выбора.

## **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ПРИВОДОВ ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ОБРАБАТЫВАЮЩИХ ЦЕНТРОВ**

**И.О. Москвин, В.В. Михрютин**

Научный руководитель – В.В. Михрютин, канд. техн. наук, доцент

*Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева*

Важным направлением повышения производительности и качества обработки является применение обрабатывающих центров, позволяющих сконцентрировать операции резания на одном станке, и, следовательно, исключить потери времени, связанные с транспортировкой заготовки со станка на станок, и повысить точность обработки за счет предотвращения смены баз заготовки. При этом черновая и чистовая обработка должны выполняться также на одном станке. Для этого шпиндельные узлы станков должны обеспечивать работу в широком диапазоне регулирования.

Существенное расширение диапазона регулирования частоты вращения шпинделя достигается при использовании систем «прямого привода», однако, при этом существует ограничение по величине крутящего момента.

Существующие технические решения, позволяющие преодолеть данный недостаток можно разделить на две группы.

К первой группе относятся решения, использующие переключаемые механические передачи для получения высоких значений крутящего момента в области низкоскоростной обработки. Недостатком данных конструкций являются большие габариты устройства, что обусловлено необходимостью обеспечения независимого вращения ротора электродвигателя и шпинделя станка.

Вторая группа технических решений использует дополнительный электродвигатель для повышения создаваемого крутящего момента.

Общими недостатками встраиваемых электродвигателей является высокая стоимость и необходимость принудительного охлаждения, что требует применения охлаждающих систем, усложняющих конструкцию и увеличивающих габариты станка.

Проведенный обзор конструкций шпиндельных узлов показал, что в настоящее время актуальным является вопрос расширения диапазона регулирования шпиндельных узлов и повышения крутящего момента в нижнем диапазоне частоты вращения шпинделя. Данное обстоятельство указывает на актуальность проведения работ в области совершенствования шпиндельных узлов за счет расширения диапазона регулирования и повышения крутящего момента в нижней области частот вращения.

## **СОЗДАНИЕ ПРИВОДА ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ СТАНКА ДЛЯ СКОРОСТНЫХ И ТЯЖЕЛЫХ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ**

**И.О. Москвин, В.В. Михрютин**

Научный руководитель – В.В. Михрютин, канд. техн. наук, доцент

*Рыбинский государственный авиационный технический  
университет им. П.А. Соловьева*

Анализ конструкций современных приводов главного движения показал, что одним из наиболее перспективных их совершенствования является создание комбинированных приводов на основе двух двигателей с различными характеристиками. Недостатком таких приводов является высокая стоимость встраиваемых электродвигателей и необходимость создания дополнительной системы охлаждения.

Создание инновационных конструкций станков имеет огромное значение. Вместе с тем, на предприятиях имеется достаточно большое количество морально устаревших станков. Модернизация позволяет значительно расширить технологические возможности станка. При этом создается станок, технологические показатели которого сопоставимы с показателями нового оборудования. Это делает необходимым проведение конструкторских работ по проведению модернизации оборудования.

В качестве базового станка для проведения модернизации выбран достаточно широко распространенный обрабатывающий центр ИР500 ПМФ4. Привод вращения шпинделя данного станка осуществляется через коробку скоростей, расположенную в шпиндельной бабке. Использование зубчатых передач ограничивает максимальную частоту вращения шпинделя, создает дополнительные вибрации несущей системы, что делает невозможным осуществление на станке высокоскоростной чистовой обработки.

Проведенный обзор позволил предложить конструкцию привода главного движения станка. Для работы в области высокоскоростного резания предложено оснастить шпиндельный узел станка синхронным двигателем с частотным регулированием. В области низкоскоростной обработки крутящий момент обеспечивается в значительной степени за счет использования вращения, передаваемого на шпиндель от асинхронного электродвигателя через коробку скоростей.

Предложенная конструкция позволяет увеличить крутящий момент в области низкоскоростной обработки, путем установки дополнительного электродвигателя, с возможностью ведения высокоскоростной точной обработки. Разработан привод с широкими технологическими возможностями, позволяющий проводить обработку заготовок из труднообрабатываемых материалов.

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПО СОЗДАНИЮ ЛИТЬЕВОЙ ОСНАСТКИ В CREO 2.0 ДЛЯ РАЗВИТИЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА НА КАФЕДРЕ КИ ТМС ЯГТУ**

**А.А. Пасхина, О.Н. Калачев**

Научный руководитель – О.Н. Калачев, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Creo является одним из крупнейших продуктов американской компании PTC и представляет собой совокупность множества модулей, объединенных между собой в различные группы: конструкторская подготовка производства, технологическая подготовка производства, расчетные модули, концептуальная разработка и промышленный дизайн, основные решения Creo.

В работе по созданию литейной оснастки использовался один из модулей Creo – CreoToolDesign, который представляет собой средства для быстрой разработки формообразующих деталей пресс-форм и штампов. Совместная работа конструкторов и технологов ЧПУ в CreoParametric гарантирует полную ассоциативность данных, что обеспечивает неразрывную цепочку «Проектирование – Оснастка – Производство» с автоматическим проведением изменений.

В результате построения литейной оснастки были выявлены некоторые проблемы по использованию средств данного модуля, в частности нехватка методических, учебных материалов, отсутствие демонстрационных видеофайлов в сети Интернет. На данном этапе работы начата разработка учебных материалов для успешного обучения молодых специалистов по работе в CreoToolDesign. Дальнейшая работа направлена на получение полного пакета сопровождающих документов, которые формируются автоматически по итогу создания оснастки. Кроме того, необходимо провести сравнительный анализ создания одной и той же литейной оснастки в различных CAD/CAM/CAE-системах, например, NX и Cimatron.

Производство на современном этапе не может обойтись не только без новейшего оборудования, но и без современных подходов в области проектирования. Одним из этих подходов и является создание литейной формы в CAD/CAMCreo. Создаваемые методические материалы нацелены на обучение студента работе в программе. В Ярославле этот программный продукт эффективно используется на ОАО «Автодизель», где успешно работают выпускники кафедры «Компьютерно-интегрированная технология машиностроения», что доказывает актуальность создания методических пособий по использованию современных CAD/CAM/CAE-систем.

## **ПОВЫШЕНИЕ ВЫНОСЛИВОСТИ БОЛТОВ КРЕПЛЕНИЯ КРЫШКИ ШАТУНА ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ**

**А.М. Письменный, А.С. Букатый**

Научный руководитель – А.С. Букатый, канд. техн. наук  
*Ярославский государственный технический университет*

Болт крышки шатуна является ответственной деталью кривошипно-шатунного механизма поршневого двигателя. Болты воспринимают высокие циклические нагрузки, в результате чего любые возможные дефекты в виде вмятин, рисок, помятых ниток резьбовой части приводят к разрушению вследствие усталости (рисунок 1). Повышение прочностных характеристик болтов достигается путем внедрения конструктивных и технологических мероприятий, таких как оптимизация радиуса впадины резьбы, применение химико-термической обработки и других процессов, направленных на улучшение свойств и микроструктуры материала детали. Однако значительное количество отказов свидетельствует о том, что применение всех указанных методов обработки не обеспечивает требуемой выносливости болтов. Решение данной проблемы возможно путём применения упрочняющей обработки болтов поверхностным пластическим деформированием. Обработке стальными микрошариками необходимо подвергать всю поверхность болта включая переход в резьбовую часть. Резьбовой участок болта должен быть защищен от ударов микродроби. Первоначальную оценку эффективности процесса проводилась с помощью конечно-элементной модели болта. Модель представляет собой болт с упрочнённым поверхностным слоем. В объёме поверхностного слоя моделируется напряжённо-деформированное состояние соответствующее выбранному режиму обработки. Приложение граничных условий, соответствующих условиям работы болта, позволяет получить напряжённо-деформированное состояние зон наиболее подверженных разрушению, как без упрочнения, так и с учетом упрочняющей обработки. На основе предварительных расчётов проводится оптимизация режимов обработки, после чего необходима апробация предложенных мероприятий на производстве.



Рисунок 1 – Болт крепления  
крышки шатуна

## **ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ И ОСОБЕННОСТИ ИХ КОНСТРУКЦИИ**

**А.В. Порошин, А.А. Малов**

Научный руководитель – А.А. Малов, ст. преподаватель  
*Ярославский государственный технический университет*

Приспособления для фрезерных станков применяются для фрезерования плоскостей, пазов, лысок, зубьев цилиндрических и конических шестерен, спиральных канавок, фасонных поверхностей.

Универсальные приспособления применяются при обработке изделий различных по форме и размерам на фрезерных станках с прямолинейной, круговой и копирной подачей стола. К ним относятся: машинные тиски и пневматические тиски с поршневым цилиндром.

Приспособления, расширяющие технологические возможности оборудования, позволяют за одну установку изделия обработать разные его поверхности, нарезать на обычном фрезерном станке зубья шестерен, получать спиральную канавку на наружной цилиндрической поверхности изделия. К ним относятся: универсальные делительные головки, угловой прямоугольный трехкоординатный стол и поворотный двухпозиционный стол.

Специализированные приспособления применяются для изготовления изделий одного типа, но разных размеров. К ним относятся: специализированные приспособления для фрезерования клиньев, специализированные приспособления для фрезерования зубчатых реек и специализированные приспособления для фрезерования валов и втулок.

Делительные приспособления применяются в тех случаях, когда экономически нецелесообразно использовать универсальные делительные головки, т.к. можно применить угловые схемы деления. К ним относятся: делительное приспособление с вертикальной осью вращения, делительное приспособление с горизонтальной осью вращения и делительный стол с блокировочным устройством.

Приспособления для непрерывного фрезерования используются на обычных фрезерных станках с применением вращающегося стола и механического привода от станка для кругового фрезерования плоскостей и обработки фасонных поверхностей. К ним относятся: приспособления для непрерывного фрезерования плоскостей и приспособления для фрезерования профиля по контуру.

Рассмотрены конструкции приспособлений для фрезерных станков и их применение в современных условиях машиностроения.



## **РАЗРАБОТКА ЗАЖИМНЫХ ТЕРМОПАТРОНОВ ДЛЯ РЕЖУЩЕГО ОСЕВОГО ИНСТРУМЕНТА**

**Е.И. Солодова, К.А. Украженко**

Научный руководитель – К.А. Украженко, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Современные процессы высокоскоростной механообработки выдвигают специальные требования к зажимным устройствам. Одним из прогрессивных способов крепления инструмента, позволяющих вести точную обработку (например, точность радиального биения  $<0,003$  мм) на высоких скоростях является крепление в термопатронах. Высокое усилие зажима, создаваемое термопатронами, позволяет передавать большие крутящие моменты, что значительно снижает вибрацию в зоне резания. Это приводит к повышению стойкости инструмента, снижению упругих перемещений, а также уменьшению износа станочного шпинделя.

Принцип зажима инструмента заключается в том, что патрон разогревается в специальном устройстве и его отверстие увеличивается за счет термического расширения. Затем в него вставляется инструмент, и патрон охлаждают. Вследствие получаемого натяга происходит зажим установленного инструмента с заданным усилием.

Для проектирования термопатронов, а также определения режимов эксплуатации устанавливается ряд зависимостей, среди которых:

- температура нагрева – натяг;
- передаваемый крутящий момент – натяг.

Для эксплуатации термопатронов необходимо знать температуру и время нагрева для создания требуемого натяга. Данный натяг, в свою очередь, определяется в зависимости от заданных условий обработки, а именно, крутящего момента.

Кроме того, на основании расчетов было установлено, что с увеличением посадочного диаметра увеличивается и значение допустимого натяга, который будет находиться в зоне упругих деформаций данной оправки. Данный натяг зависит не только от посадочного диаметра, но и от наружного диаметра термопатрона, т.е. при одном и том же посадочном диаметре в более толстостенном термопатроне можно создать больший натяг. Поэтому патроны для более тяжелой, черновой механической обработки необходимо выполнять с увеличенной толщиной стенки в области крепления инструмента.

Расчеты показали, что допустимый натяг зависит и от свойств материала, из которого изготавливают термопатрон. При использовании стали с большим пределом текучести материала также увеличится и значение допустимого натяга.

## **ОСВОЕНИЕ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА В ХОДЕ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ НА КАФЕДРЕ «КИ ТМС»**

**А.Е. Трофимов, О.Н. Калачев**

Научный руководитель – О.Н. Калачев, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Машиностроительные предприятия все чаще сталкиваются с необходимостью автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства. Важное место в решении этой задачи занимает методика подготовки квалифицированных специалистов, способных быстро включаться в реинжиниринг предприятия.

На кафедре КИ ТМС ЯГТУ разработан и успешно внедрен в учебный процесс базовый курс КГМ, в ходе которого студенты знакомятся с основной CAD/CAM-системой – Cimatron и PLM-Лоцман. Кафедра поддерживает свою Web-страницу <http://tms.ystu.ru/> на сервере университета, где представлен обширный материал по организации и особенностям учебного процесса.

На этапе дипломного проектирования студенты специализируются в производственных условиях для освоения более сложных зарубежных систем, используемых на крупных предприятиях.

Во время практики изучалась конструкторская документация по детали двигателя для малой авиации. От заказчика документация пришла в формате CADSolidWorks, наша задача состояла в конвертации всех файлов в CAD/CAMNX с целью разработки УП для станков с ЧПУ. При решении этой задачи использовался Autodesk Inventor для перевода файла.sldprt в промежуточный формат .x\_b, доступный для NX. Опытным путем было выяснено, что точность отображения геометрии детали после конвертации не снизилась, дерево и история создания модели при этом не сохранились, но на дальнейшей работе отрицательно это никак не сказалось. Были изучены методы обработки реальных деталей и их последовательность от заготовки до готовой детали, обеспечивающие минимальное общее время обработки. Полученная УП подверглась ручной корректировке для устранения лишних паразитных ходов. Исследовались факторы, минимизирующие штучное время: положение плоскости безопасности, шаг по оси Z, боковой шаг.

В результате проведена конструкторско-технологическая подготовка производства с применением современной CAD/CAM-системы SiemensNX 8.5 – описание создания модели «Крышка приводов» двигателя малой авиации, разработка управляющей программы для изготовления детали на оборудовании с ЧПУ.

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ И ПОВЫШЕНИЕ ВЫНОСЛИВОСТИ ШАТУНА ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ**

**А.М. Убайдуллоев, А.С. Букатый**

Научный руководитель – А.С. Букатый, канд. техн. наук  
*Ярославский государственный технический университет*

Надежность поршневого двигателя внутреннего сгорания зависит от выносливости наиболее ответственных деталей. Одной из наиболее нагруженных деталей является шатун. Распространённым разрушением шатуна является разрыв вследствие недостаточной выносливости (рисунок 1). Развитие дефектов происходит, как правило, от поверхности, в результате чего в технологический процесс необходимо включать дробеструйную обработку, приводящую к созданию наклепанного поверхностного слоя. Сжимающие остаточные напряжения, возникающие в поверхностном слое в процессе дробеструйной обработки, приводят к замедлению роста микротрещин и значительно повышают предел выносливости детали. Также упрочнение приводит к изменению геометрических размеров, в результате чего необходимо проверять отклонение размеров и формы шатунов от упрочнения на выбранных режимах. Анализ отклонений размеров шатуна осуществляется путём построения его конечно-элементной модели. В модель закладываются свойства материала, соответствующие конструкторской документации. Упрочняющая обработка моделируется в виде поверхностного слоя с изменёнными свойствами материала, а также с напряжённо-деформированным состоянием соответствующим анализируемому режиму упрочнения. Результаты расчётов позволяют оценить пригодность режимов упрочнения путем анализа соответствия геометрических размеров и формы детали требованиям конструкторско-технологической документации. В случае превышения технологических допусков возможно применение локального упрочнения наиболее опасных зон, определение которых также осуществляется посредством разработанной модели.



Рисунок 1 – Шатун поршневого ДВС

## **РАЗРАБОТКА ГИБКОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО МОДУЛЯ ПО ОБРАБОТКЕ КАРТЕРНЫХ ДЕТАЛЕЙ**

**Д.А. Якубовский, К.А. Украженко**

Научный руководитель – К.А. Украженко, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Гибкие производственные системы (ГПС) являются вершиной автоматизации механической обработки. Основой ГПС являются многоцелевые станки (МС) и средства, обеспечивающие функционирование данной системы. Для повышения технико-экономической эффективности требуется оптимизация технологических условий обработки. Целью работы является:

1. Замена соединений типа SK на более жесткие HSK;
2. Оптимизация технологических условий обработки;
3. Привести в соответствие технологическую систему с технологическими условиями обработки.

Для создания гибкого производственного модуля необходимо решить упомянутые задачи, поэтому был проведен анализ технологического процесса изготовления картерных деталей на предмет соответствия режимов резания оптимальным режимам.

Расчеты производились на основе аналитических зависимостей Рыбинской технологической школы, в которые входят следующие параметры: физико-механическая константа обрабатываемого материала; параметры сечения среза (толщина, ширина); действительные значения главного переднего и главного заднего углов работающего участка режущей кромки инструмента; коэффициент температуропроводности обрабатываемого материала; радиус округления режущей кромки используемого инструмента; коэффициенты теплопроводности инструментального и обрабатываемого материалов; износ режущего инструмента по задней поверхности в области его вершины; диаметр обрабатываемой поверхности заготовки; безразмерный коэффициент учитывающий влияние СОТС на оптимальную скорость резания; поправочный коэффициент учитывающий влияние на оптимальную скорость резания износостойкости покрытий.

На основе полученных оптимальных скоростей резания и подач были рассчитаны максимальные допустимые силы резания, согласно которым определялись упругие перемещения технологической системы, то есть была приведена технологическая система в соответствие с технологическими условиями обработки.

## **ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ СВЕРЛИЛЬНЫХ СТАНКОВ И ОСОБЕННОСТИ ИХ КОНСТРУКЦИИ**

**Н.А. Лесников, А.А. Малов**

Научный руководитель – А.А. Малов, ст. преподаватель  
*Ярославский государственный технический университет*

На сверлильных станках получают относительно точные отверстия, расположенные на заданных расстояниях друг от друга, и на различных поверхностях обрабатываемых изделий.

Кондукторы, состоящие из неподвижного основания с устройствами для установки и закрепления обрабатываемого изделия, и подвижной плиты с расположенными в ней кондукторными втулками.

Накладные кондукторы применяют в тех случаях, когда обрабатываемые отверстия расположены с одной стороны заготовки и могут быть обработаны без поворота кондуктора.

Скальчатые кондукторы широко применяются для обработки изделий на сверлильных станках.

Кантующийся кондуктор применяется для сверления отверстий с четырех сторон обрабатываемого изделия.

Поворотные столы и стойки применяют для обработки отверстий, расположенных по концентрическим окружностям или параллельных рядах, на разных поверхностях изделия.

Поворотная стойка с горизонтальной осью вращения применяется для последовательной обработки отверстий, расположенных на различных плоскостях обрабатываемого изделия, и для сверления радиально расположенных отверстий.

Плавающие столы применяются для сверления отверстий с параллельными осями с целью обеспечения безопасных условий труда и сокращения вспомогательного времени на перемещение кондуктора по столу станка при обработке изделий.

Автоматизированные кондукторы применяются в условиях крупносерийного производства для синхронизации процессов: загрузки изделия в зону обработки; закрепления его в приспособление; обработки изделия; открепления изделия и удаления его из зоны обработки.

В машиностроении наиболее широкое применение получили кондукторы с реечно-конусным механизмом и пневматическим приводом. Они применяются для обработки отверстий в изделиях среднего размера.

Рассмотрели конструкции приспособлений для сверлильных станков и их применение в современных условиях машиностроения.

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ – ЭТО ПУТЬ ПРОГРЕССА**

**Р.А. Гутниченко, А.К. Денисюк**

Научный руководитель – А.К. Денисюк, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Горячая объемная штамповка – один из способов заготовительного производства получения фасонных заготовок. Более массивные и сложные по форме поковки получают методом горячей штамповки с облоем. Отходами при данном методе штамповки являются: потери на угар металла, облой и в ряде случаев перемычка под прошивку. Применяются два способа нагрева исходных заготовок под штамповку: пламенный и электрический.

При объемной штамповке применяются различные оборудования: штамповочные молоты, кривошипные горячие штамповочные прессы, горизонтально-ковочные машины, винтовые прессы и др. При обеспечении технологических операций, соответствующим оборудованием, инструментом могут решаться вопросы повышения качества продукции, экономичность и производительность.

Примером совершенствования технологии получения поковок является производство поковок корпуса секции для топливных насосов дизельных двигателей, когда пламенный нагрев заменяется на электрический. Штамповка на горизонтально ковочной машине (ГКМ) заменяется на штамповку на винтовом прессе. При штамповке на ГКМ производится частичный нагрев заготовки. Штамповка производится в разъемных машинах, что приводит к искажению геометрии поковки. В отличие от штамповки на винтовом прессе, когда геометрия поковки полностью соответствует чертежу.

В результате совершенствования технологий: уменьшается брак подштамповки, уменьшается расход металла на поковку (более двухсот граммов), снижаются затраты на производство поковок корпуса секции.

## **ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ НАПЛАВКОЙ**

**А.В. Найденов, А.В. Лебедев, В.А. Алов**

Научный руководитель – В.А. Алов, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Выход из строя подавляющего большинства деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки связан с износом и разрушением их поверхностных слоев, т.е. постепенным изменением размеров и формы их рабочих поверхностей. Традиционно борьба с износом основывается на конструировании деталей из объемно-легированных материалов с последующей термической обработкой, на использовании методов химико-термической обработки или нанесения электрохимических покрытий. Такой подход осложняется дефицитностью и сокращением номенклатуры материалов выпускаемых металлоизделий, их чрезмерно высокой стоимостью, большими энергозатратами на термическую или химико-термическую обработку, экологическими проблемами, связанными с гальваническим производством. В настоящее время постоянно выдвигаются новые требования к надежности, долговечности, конкурентоспособности изделий, к специфическим условиям эксплуатации машин и механизмов, которые принципиально не могут быть решены при использовании какого-либо одного сложнолегированного сплава.

Важно отметить, что резервы свойств исходных материалов и общеизвестных технологий, используемых при изготовлении изнашиваемых деталей, с точки зрения повышения износостойкости, практически полностью израсходованы.

Одним из перспективных направлений на пути создания высоконадежных, долговечных и конкурентоспособных изнашиваемых деталей является применение современных технологий нанесения функциональных покрытий. В мировой практике известны три основных наиболее часто применяемых метода нанесения покрытий – это технологии наплавки, напыления и осаждения. Трудности выбора оптимального метода, стоящие перед технологами машиностроительных производств, осложняются большим количеством подвидов вышеназванных технологий, многовариантностью режимов, а также многообразием применяемых присадочных и других вспомогательных материалов. Поэтому знание основных характеристик, достоинств и недостатков данных процессов позволит ориентироваться в выборе технологий для решения конкретных производственных задач.

## **ЦЕНТРОБЕЖНО-ЛИТЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ИЗДЕЛИЯ НА АЛЮМИНИЕВОЙ ОСНОВЕ**

**А.А. Печников, Т.А. Теленкова, Л.С. Кипнис**

Научный руководитель – Л.С. Кипнис, канд. техн. наук, доцент  
*Карагандинский государственный технический университет  
(Республика Казахстан)*

Композиционные материалы и изделия на алюминиевой основе отличаются достаточно высокими механическими характеристиками и хорошей технологичностью для деталей машин различного назначения, однако практическое применение их остается на низком уровне.

В качестве технологически и экономически приемлемых армирующих элементов для изделий с матрицей из алюминиевых сплавов находят применение мелкодисперсные материалы, полученные из техногенных отходов, в том числе шлаки металлургических производств, ваграночной плавки, отходы обогащения, золы тепловых агрегатов, шамотный порошок.

В зависимости от природы и вещественного состава вводимых частиц они могут способствовать повышению прочностных, фрикционных или антифрикционных характеристик матричного сплава.

Один из перспективных для практического применения вариантов композиционных материалов - получение локально-армированных изделий, при котором необходимые параметры физических свойств и эксплуатационных характеристик реализуются в отдельных заданных областях изделия.

Это позволяет существенно снизить себестоимость изделий и в ряде случаев упростить и облегчить их механическую обработку.

Для исследования оптимальных параметров ввода армирующих частиц в расплав при получении центробежным литьем функционально-армированных сплошных и полых отливок типа тел вращения с армированным слоем в различных зонах отливки по толщине, разработаны и изготовлены лабораторные центробежные машины с горизонтальным и вертикальным положением оси вращения форм.

Разработана оснастка разборной конструкции, в которой возможно регулирование скорости охлаждения залитого металла за счет использования вкладышей, материала облицовочного слоя и его толщины.

Целью исследования является отработка методов ввода армирующих частиц различного состава и размеров, уточнение механизма поведения армирующих частиц в матричном сплаве, термовременных и гидродинамических параметров процесса.



## **КИСЛОТОУПОРНЫЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ**

**Б. Тойымбекова, И.Е. Медведева, Е.А. Сидорина**

Научный руководитель – Е.А. Сидорина, ст. преподаватель  
*Карагандинский государственный технический университет*  
(Республика Казахстан)

Кислотоупорные керамические изделия называют изделия, которые характеризуются плотной спекшейся структурой с высоким пределом прочности при сжатии, разрыве, стойкости к истиранию, газопроницаемостью и химической стойкостью по отношению к действию кислот и газов. Их широко применяют в химической, электрохимической, в цветной металлургии, пищевой и других областях промышленности. Развитие химических производств тесно связано с развитием керамической индустрии. Производство серной, соляной, азотной, фосфорной и других кислот было бы затруднительно без кислотоупорных керамических изделий, которые с успехом заменяют дорогостоящую металлическую аппаратуру. Важнейшие преимущества каменных кислотоупорных керамических изделий заключаются в высокой химической стойкости, способности противостоять действию кислот, хлора и других химических реагентов и длительных сроков их службы. Керамические изделия специального назначения отличаются большой механической прочностью, пониженным коэффициентом термического расширения, большой плотностью и невысокой пористостью, повышенной термической и высокой химической стойкостью. Для производства кислотоупорной керамики применяют главным образом сравнительно чистые огнеупорные и тугоплавкие глины, которые при обжиге образуют плотные черепки. Значительная потребность химической промышленности, цветной металлургии и других отраслей промышленного производства в кислотоупорных материалах, вынуждает ориентироваться при выпуске массовых изделий на наиболее доступное и дешевое сырье. Одним из аспектов решения этой актуальной проблемы является использование техногенного сырья при получении кислотостойких материалов. Производство керамических изделий является одной из самых материалоемких отраслей народного хозяйства. Поэтому рациональное использование топлива, сырья и других материальных ресурсов становится решающим фактором ее успешного развития. В связи с этим проблема применения в керамических материалах промышленных отходов приобретает особую актуальность.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСТИРАЕМОСТИ ЛИТЕЙНОГО КОКСА

**В.В. Хапеева, В.А. Иванова**

Научный руководитель – В.А. Иванова, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Прочность литейного кокса способствует уменьшению содержания мелочи в поставляемых партиях и обеспечивает дренажную способность для жидкой и газовой фаз при плавке чугуна, поэтому имеет большое значение для эффективности ваграночной плавки. В настоящее время прочность характеризуется рядом показателей, которые определяются при испытаниях, моделирующих поведение кокса в различных условиях. Однако эти методы не моделируют условия транспортировки кокса в вагонах и по конвейерам, когда кокс испытывает истирающие нагрузки.

Истираемость (абразивную прочность) можно оценить косвенно – путем расчета потери массы эталона (в данной работе – алюминиевой пластинки) в результате трения об него образца кокса с определенным усилием в течение определенного периода времени. Для исследования истираемости были отобраны образцы кокса, поставляемого на Ярославский электровагоноремонтный завод, классов крупности 40...60 мм и 60...80 мм из четырех партий, различающихся показателями качества. Эксперименты проводилось в испытательном центре предприятия ОАО «Ярославский завод «Красный Маяк» на вибрационной установке, состоящей из вибростенда, вибратора и приспособления. Вибратором создавались колебания, вынуждающие образец кокса тереться об алюминиевую пластину, закрепленную в приспособлении. В результате этого происходила потеря массы как образца кокса, так и эталона. Истираемость рассчитывалась как относительная потеря массы образцов кокса и эталона (алюминиевой пластины) до и после испытания.

Известно, что истираемость кокса зависит от его плотности или пористой структуры. В данном случае плотность представляет собой отношение суммарной длины стенок (межпорового пространства) к суммарной длине пор на единице длины поверхности кокса. Поэтому были определены параметры макроструктуры образцов литейного кокса прямым микроскопическим методом.

В результате проведенного исследования было выявлено, что прочный (по показателю  $M_{40}$ ) кокс более устойчив к истирающим нагрузкам, но он обладает повышенной абразивной прочностью, что может оказывать отрицательное воздействие на футеровку вагранки. Стойкость литейного кокса к истирающим нагрузкам зависит от параметров пористой структуры поверхности: прочность внутренней поверхности выше у кокса, содержащего большее количество более толстых стенок между порами.

## КОНСТРУКТИВНАЯ ПРОЧНОСТЬ

**В.В. Хапеева, Н.В. Косарева**

Научный руководитель – Н.В. Косарева, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Конструкционные стали представляют собой обширную группу материалов для изготовления деталей машин и механизмов, конструкций и сооружений. Требование обеспечения высокой конструктивной прочности, т.е. обладание комплексом механических свойств, обеспечивающих длительную и надежную работу материала в условиях эксплуатации, является определяющим для конструкционных сталей.

Чтобы избежать преждевременных поломок в высоконапряженных конструкциях, кроме стандартных механических свойств, важно учитывать следующие параметры конструктивной прочности:

- параметры, определяющие надежность металлических материалов против внезапных разрушений: работу развития трещины; параметр Ирвина – коэффициент интенсивности напряжений при плоской деформации; температурный порог хладноломкости;

- параметры, определяющие долговечность металлических материалов: предел выносливости; живучесть; износостойкость; контактную прочность.

Повышение прочности достигается созданием металлов и сплавов либо с бездефектной структурой, либо с повышенной плотностью дефектов (в том числе дислокаций), затрудняющих движение дислокаций.

Требуемый уровень механических свойств конструкционных сталей достигается следующими методами: выбором химического состава стали, назначением режимов термической обработки, применением методов поверхностного упрочнения, улучшением металлургического качества.

Таким образом, чтобы обеспечить работоспособность деталей в условиях эксплуатации конструкционный материал должен обладать:

- 1) высоким сопротивлением пластической деформации (оценивается пределом текучести и пределом прочности), определяющим массу и размеры деталей;

- 2) пластичностью, вязкостью, высоким сопротивлением разрушению (высокой работой развития трещины, трещиностойкостью, низким порогом хладноломкости), определяющими надежность работы;

- 3) сопротивлением усталости и износу, контактной выносливостью, определяющими долговечность работы.

Рассмотренные механизмы и методы упрочнения положены в основу современных технологических процессов повышения конструктивной прочности металлов и сплавов.

## **ОСОБЕННОСТИ ДЕМПФИРУЮЩИХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ ЖЕЛЕЗО – АЛЮМИНИЙ**

**В.В. Хапеева, Н.В. Косарева**

Научный руководитель – Н.В. Косарева, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Уровень шума и вибрации является важной характеристикой технических изделий. В новых экономичных демпфирующих сталях и сплавах системы Fe – Al может быть получено такое сочетание механических, демпфирующих и технологических свойств, которое ранее не удавалось достигнуть ни для сплавов высокого демпфирования (сплавы Mn – Cu, Ni – Ti, Ni – Co), ни для органических вибропоглотителей.

Отсутствие дорогостоящих компонентов и возможность применения высокопроизводительного оборудования современных металлургических предприятий для производства демпфирующих сплавов системы Fe – Al приводят к тому, что себестоимость демпфирующей стали 01Ю5Т сопоставима с себестоимостью легированных конструкционных сталей. Принципиальным отличием демпфирующих сталей от органических вибропоглощающих материалов является более высокая удельная демпфирующая способность, незначительное изменение свойств во времени, а также широкий диапазон рабочих температур.

Удельная демпфирующая способность сплавов системы Fe – Al достигает 50%, т.е. до 50% подведенной энергии упругих колебаний может быть поглощено материалом за один цикл колебаний. По данному параметру демпфирующие стали превосходят обычные конструкционные стали в 25...100 раз. В сплавах системы Fe – Al высокая демпфирующая способность проявляется в области малых и средних амплитуд знакопеременного нагружения, что позволяет эффективно использовать эти материалы для гашения шумов и вибрации.

Высокий модуль упругости и допустимый уровень механических свойств позволяют заменить используемые конструкционные стали демпфирующей сталью 01Ю5Т без изменения конструкции изделия.

Высокая демпфирующая способность обусловлена тем, что в сплавах Fe – Al реализуется магнитомеханический механизм диссипации энергии упругих колебаний и основная доля упругой энергии системы рассеивается при гистерезисных смещениях несимметричных 90-градусных стенок магнитных доменов, чувствительных к внешним упругим напряжениям. При этом нарушение технологического режима термообработки или деформации ведет к потере демпфирующей способности, но механические свойства материала меняются незначительно. Эти особенности делают сплавы Fe – Al очень перспективными с промышленной точки зрения.

## ОСОБЫЕ СВОЙСТВА ЛЁГКИХ МЕТАЛЛОВ

**А.А. Бессуднов, С.В. Загуляева**

Научный руководитель – С.В. Загуляева, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет.*

Лёгкие металлы – металлы, обладающие малой плотностью. Начало развития металлургии лёгких металлов относится к середине XIX века. Важнейшие лёгкие металлы – алюминий, магний, титан.

Алюминий – лёгкий, парамагнитный металл серебристо-белого цвета, легко поддающийся формовке, литью, механической обработке, плотностью ( $2.7 \text{ г/см}^3$ ) и температурой плавления  $660^\circ\text{C}$ . Обладает высокой тепло- и электропроводностью, стойкостью к коррозии. Впервые был получен в 1825 году. Название образовано от лат. *aluminis* – квасцы. Является основным сырьём в авиационной и авиакосмической промышленности. Основным недостаток – малая прочность. Для упрочнения сплавляют с медью и магнием (дюралюминий). Алюминий и его сплавы сохраняют прочность при сверхнизких температурах. Благодаря этому используется в криогенной технике.

Магний – лёгкий, ковкий металл серебристо-белого цвета. Обладает наименьшей плотностью ( $17.2 \text{ г/см}^3$ ) и температурой плавления  $651^\circ\text{C}$ . Впервые был выведен в чистом виде в 1808 году. Используется для получения лёгких и сверхлёгких сплавов, для изготовления осветительных и зажигательных ракет. Сплавы на основе магния являются важным конструкционным материалом в авиационной и автомобильной промышленности благодаря их лёгкости и прочности.

Титан – лёгкий металл серебристо-белого цвета с малой плотностью ( $45 \text{ г/см}^3$ ), высокопрочный, коррозионностойкий, хорошо штампуется и сваривается. Температура плавления:  $1672^\circ\text{C}$ . Первый образец был получен в 1825 году. Применяется в химической, военной, автомобильной, сельскохозяйственной, пищевой, медицинской промышленности. Является важнейшим конструкционным материалом в авиа-, ракето-, кораблестроении. Один из наиболее распространённых геттерных материалов. Является легирующей добавкой во многих легированных сталях и большинстве спец.сплавов. Нитинол (никель-титан) – сплав, обладающий памятью формы, применяемый в медицине и технике.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДЫ КАК ЗАКАЛОЧНОЙ СРЕДЫ

**Н.А. Савельев, Н.В. Косарева**

Научный руководитель – Н.В. Косарева, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Вода является самой старой из числа жидких закалочных сред. Выбор ее в качестве закалочной среды объясняется большой распространенностью на земной поверхности. Для закалки обычно применяется речная вода или водопроводная вода, а также многочисленные растворы и эмульсии на ее основе. Эти закалочные среды являются дешевыми, негорючими и в большинстве своем имеют высокую охлаждающую способность.

Чаще всего для закалки используется вода, имеющая температуру 15-30 °С. Однако на практике приходится пользоваться как более теплой, так и более холодной водой. Нередки случаи, когда вследствие недостаточного объема воды в закалочных баках средняя температура ее повышается до 60-70 °С и более. Даже при поддержании в течение всего процесса закалки средней температуры 15-30 °С слои воды, соприкасающиеся с охлаждаемой поверхностью изделия, всегда бывают сильно перегреты, вплоть до 100 °С.

В тех случаях, когда не производится перемешивание воды или, если отводу перегретой воды от охлаждаемой поверхности препятствуют неровности на охлаждаемой поверхности (следы механической обработки, рифления, накатка, нарезка и проч.), то, не смотря на низкую среднюю температуру воды в закалочном баке, охлаждение изделия или отдельных его частей происходит как в подогретой воде. Этому сильно способствует также наличие на изделии сквозных и особенно глухих отверстий, внутренних углов, больших плоских горизонтальных поверхностей и т.д. При неблагоприятном распределении напряжений, обусловленных охлаждением в закалочной среде, на изделиях могут возникать закалочные трещины. Резкая зависимость охлаждающей воды от температуры является главным ее недостатком как охлаждающей среды.

В термических цехах все шире применяют водные растворы солей, щелочей, глицерина, т.к. они обеспечивают интенсивное охлаждение в перлитном интервале температур и замедленное и равномерное охлаждение в интервале температур мартенситного превращения.

## **МАКРОСКОПИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ИЗЛОМОВ**

**Д.В. Смирнов, Н.В. Косарева**

Научный руководитель – Н.В. Косарева, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Излом – это поверхность разрушения твердого тела. Причиной разрушения может быть неправильный выбор материала или технологии его обработки, а также аварийные условия эксплуатации.

Цель исследования изломов – установление характера излома, определение влияния на него металлургических и технологических факторов, выявление макродефектов. При макроскопическом исследовании изломов устанавливают участки поверхности разрушения, которые необходимо исследовать более тонкими методами микроанализа. По виду излома можно оценить качество металла, дефекты структуры (неметаллические включения и др.), макронесплошности (поры, расслоения и др.), структурные элементы, обусловленные отклонениями от оптимальной технологии, величину дендритов, ликвационных неоднородностей и др.

С помощью количественного анализа устанавливают количество, размеры и распределение элементов строения поверхности разрушения, отличающихся от оптимальных, и определяют степень их отрицательного влияния на свойства металла.

Макроанализ излома позволяет с достаточной для практических целей точностью выявить глубину закаленного и цементованного слоя, определить характер разрушения и вид нагружения, при котором произошло разрушение, провести корректировку обработки узлов и деталей во избежание повреждений.

Исследование изломов широко применяется в практической деятельности металловедов, занимающихся производством, обработкой и использованием сталей и сплавов в различных отраслях металлургии.

## **ВЛИЯНИЕ ПРОКАЛИВАЕМОСТИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА**

**А.А. Чеснокова, Е.М. Щекина, Н.В. Косарева**

Научный руководитель – Н.В. Косарева, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Под прокаливаемостью понимают способность стали закаливаться на определенную глубину. За глубину закаленного слоя условно принимают расстояние от поверхности до полумартенситной зоны (50% мартенсита + 50% тростита).

Диаметр заготовки, в центре которой после закалки в данной охлаждающей среде образуется полумартенситная структура, называют критическим диаметром. Величина критического диаметра определяет размер сечения изделия, прокаливающегося насквозь, т.е. получающего высокую твердость, а после отпуска и высокие механические свойства по всему сечению.

Полумартенситная структура во многих случаях не обеспечивает максимум механических свойств. Поэтому прокаливаемость не редко определяют по глубине закаленного слоя со структурой 95% мартенсита. Критический диаметр для 95% мартенсита примерно на 25% меньше критического диаметра, определенного по полумартенситной зоне. Прокаливаемость зависит от критической скорости закалки, от содержания углерода в стали, от размера зерна аустенита, однородности аустенита, легирующих элементов и др.

Критическая скорость охлаждения зависит от состава стали. Если действительная скорость охлаждения в сердцевине будет меньше критической, то изделие прокалится на некоторую глубину, а прокаливаемость будет неполной. В сердцевине произойдет распад аустенита с образованием пластинчатой ферритно-карбидной структуры.

Увеличение размера зерна замедляет превращение, т.к. центры кристаллизации образуются преимущественно по границам зерна. Все элементы растворимые в аустените (за исключением Co), замедляют превращение.



## **ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ДЕФЕКТОСКОПОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ МАГНИТОПОРОШКОВОМ МЕТОДЕ ДЛЯ КОНТРОЛЯ**

**Н.С. Выборнов, Н.Н. Захарова, А.А. Чеснокова**

Научный руководитель – Н.Н. Захарова, канд.физ.мат. наук, доцент,  
А.А. Чеснокова, ассистент

*Ярославский государственный технический университет*

На сегодняшний день методы неразрушающего контроля получили широкое применение практически во всех областях промышленности. Одним из самых распространенных методов неразрушающего контроля является магнитопорошковый. Данным методом неразрушающего контроля используют при поиске дефектов в изделиях из ферромагнитных материалов.

Дефектоскоп - устройство для обнаружения дефектов в изделиях из различных материалов методами неразрушающего контроля. Дефектоскопы для магнитопорошкового контроля позволяют контролировать различные по форме детали, сварные швы, внутренние поверхности отверстий, намагничивая отдельные участки или изделия в целом циркулярным или продольным полем, создаваемым с помощью набора намагничивающих устройств, питаемых импульсным или постоянным током, или с помощью постоянных магнитов.

Принцип действия магнитно-порошкового дефектоскопа основан на создании поля рассеяния над дефектами с последующим выявлением их магнитным материалом. Магнитный поток в бездефектной части изделия не меняет своего направления. Если же на пути магнитного потока встречаются участки с пониженной магнитной проницаемостью, например, дефекты в виде разрыва сплошности металла, то часть силовых линий магнитного поля выходит из детали наружу и входит в нее обратно, при этом возникают местные магнитные полюсы (N и S) и, как следствие, магнитное поле над дефектом. Наибольшая плотность магнитных силовых линий поля рассеяния наблюдается непосредственно над дефектом и уменьшается с удалением от нее.

Для обнаружения дефекта на поверхность детали наносят магнитный порошок, взвешенный в воздухе (сухим способом) или в жидкости (мокрым способом). В магнитном поле частицы намагничиваются и притягиваются друг к другу как магнитные диполи, образуя цепочные структуры. Под действием результирующей силы частицы накапливаются над трещиной, образуя скопление порошка. По этому осаждению – индикаторному рисунку - определяют наличие дефектов.

## ПОЛИСПАСТ И ЗОЛОТОЕ ПРАВИЛО МЕХАНИКИ

В.Д. Белимов, В.Н. Сидоров

Научный руководитель – В.Н. Сидоров, д-р техн. наук, профессор

*Ярославский государственный технический университет*

То, что выигрывается в силе, теряется в скорости. Это положение, установленное Галилеем, носит название золотого правила механики. Рассмотрим на примере полиспаста. Пусть полиспаст состоит из двух систем блоков, каждая из которых помещена в общей обойме. Одна обойма закреплена неподвижно, а другая движется. Сила  $\vec{P}$ , приложенная к концу нити, является движущей силой, а сила тяжести поднимаемого груза  $\vec{G}$  – силой сопротивления.

Определим зависимость между силами  $\vec{P}$  и  $\vec{G}$  с помощью принципа виртуальных перемещений. Сообщим системе виртуальное перемещение, совпадающее с ее истинным перемещением при подъеме груза. Если точка приложения силы  $\vec{P}$  получит перемещение  $\delta\vec{s}_P$ , то каждая из шести частей нити между боками уменьшится на  $(1/6)\delta\vec{s}_P$ . Поэтому точка приложения силы  $\vec{G}$  переместится вверх на  $\delta s_G = (1/6) \delta s_P$ .

Составим уравнение работ в виде:

$$P\delta s_P - G\delta s_G = 0, \text{ или } P\delta s_P - G \cdot (1/6) \delta s_P = 0.$$

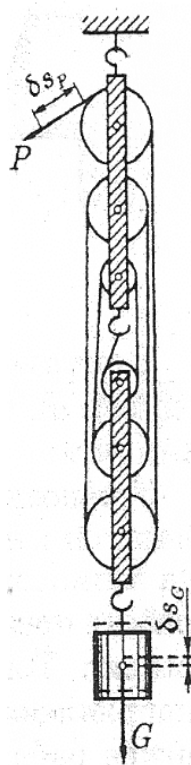
Поделив уравнение на  $\delta s_P$ , найдем

$$P = (1/6)G,$$

т.е. движущая сила меньше силы тяжести поднимаемого груза во столько раз, сколько блоков имеет полиспаст.

Для подготовки тезисов докладов под руководством научного руководителя В.Н. Сидорова использовались материалы, представленные в курсе теоретической механики

А.А. Яблонского.



**О ПАДЕНИИ НЕЗАКРЕПЛЕННОЙ ЛЕСТНИЦЫ****А.Д. Голованов, В.Н. Сидоров**

Научный руководитель – В.Н. Сидоров, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Пусть лестница длиной  $2l$ , опирающаяся одним концом на гладкую горизонтальную плоскость, начинает падать из состояния покоя, образует в начальный момент с плоскостью угол  $\alpha$ . Определим траекторию верхнего конца В лестницы при падении.

Проведем горизонтальную и вертикальную оси координат в плоскости движения лестницы, приняв за начало координат О начальное положение А ее нижнего конца. Движение лестницы совершается под действием двух внешних сил: силы тяжести  $\vec{G}$  и реакции гладкой горизонтальной плоскости  $\vec{N}$ . Так как обе внешние силы вертикальны и в начальный момент лестница находилась в покое, то согласно следствию из теоремы о движении центра масс, координаты центра масс лестницы не изменяется и при движении равна своему начальному значению:

$$x_C = x_{C0} = l \cos \alpha.$$

Учитывая, что центр масс лестницы АВ движется по вертикали, определим координаты  $x$  и  $y$  верхнего конца лестницы В в зависимости от угла  $\varphi$ , между лестницей и плоскостью в произвольный момент времени  $t$ :

$$x = x_C + l \cos \varphi = l \cos \alpha + l \cos \varphi; y = 2l \sin \varphi.$$

Исключая из этих уравнений параметр  $\varphi$ , найдем уравнение траектории конца лестницы В:

$$\cos \varphi = \frac{x - l \cos \alpha}{l}; \quad \sin \varphi = \frac{y}{2l}; \quad \frac{(x - l \cos \alpha)^2}{l^2} + \frac{y^2}{4l^2} = 1.$$

Полученное уравнение показывает, что конец В лестницы движется по эллипсу. Центр эллипса находится в точке  $l \cos \alpha, 0$ , а длины полуосей равны  $l$  и  $2l$ .

Для любого положения лестницы мгновенным центром скоростей является точка р, точки пересечения перпендикуляров, восстановленных к векторам скоростей  $\vec{V}_C$  и  $\vec{V}_A$ . Скорость  $\vec{V}_B$  точки В перпендикулярна отрезку РВ.

## О РАСЧЁТЕ РОТОРА ЭЛЕКТРОМОТОРА

Д.С. Долгин, В.Н. Сидоров

Научный руководитель – В.Н. Сидоров, д-р техн. наук, профессор

*Ярославский государственный технический университет*

Как правило, момент инерции ротора  $I$  и крутизну характеристики электромотора и подбирают из условия, чтобы время разгона ротора находилось в пределах 2-3 секунд.

Пусть к ротору электромотора приложена пара сил с моментом  $M_{вр} = M_0 - \kappa\omega$ , где  $M_0$  и  $\kappa$  – некоторые постоянные,  $\omega$  – угловая скорость ротора, а его момент инерции относительно оси вращения равен  $I$ .

Совместим направление оси вращения  $z$  с направлением пары сил и с моментом  $M_{вр}$ . Тогда  $M_z = M_{вр} = M_0 - \kappa\omega$  и  $\omega_z = \omega$ .

Дифференциальное уравнение вращения ротора принимает вид  $I \frac{d\omega}{dt} = M_0 - \kappa\omega$ .

Его решение  $-\frac{I}{\kappa} \ln(M_0 - \kappa\omega) = t + C$ .

В начале разгона при  $t = 0$   $\omega = 0$ . Тогда постоянная интегрирования  $C = -\frac{I}{\kappa} \ln M_0$ .

Отсюда  $1 - \frac{\kappa}{M_0} \omega = e^{-\frac{\kappa}{I}t}$  и, следовательно,  $\omega = \frac{M_0}{\kappa} \left(1 - e^{-\frac{\kappa}{I}t}\right)$ .

Это равенство определяет закон изменения угловой скорости. С ростом времени  $t$  второй член в скобках стремится к нулю. Поэтому угловая скорость ротора, монотонно увеличиваясь, стремится к своему предельному значению, соответствующему установившемуся режиму:  $\omega_{уст} = \frac{M_0}{\kappa}$ .

Процесс разгона двигателя считается для большинства электродвигателей законченным, когда угловая скорость  $\omega$  достигнет 0,95 своего предельного значения. Его продолжительность  $t_{пер}$  определяется  $t = -\frac{I}{\kappa} \ln \left(1 - \frac{\omega}{\omega_{уст}}\right)$ .

При  $\frac{\omega}{\omega_{уст}} = 0,95$  время  $t = t_{пер}$ . Следовательно  $t_{пер} = \frac{I}{\kappa} \ln 20 \approx \frac{3I}{\kappa}$ .

## О ДВИЖЕНИИ ТЕЛ ПО КАНАЛАМ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ПОЧТЫ

**А.Н. Дубовик, В.Н. Сидоров**

Научный руководитель - В. Н. Сидоров, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Пневматическая почта – это вид транспорта по перемещению штучных грузов под действием сжатого или разреженного воздуха. Закрытые капсулы перемещаются по системе трубопроводов, перенося внутри себя нетяжелые грузы, документы. Примером такого движения может служить движение шарика в плоской криволинейной трубке. Положим, что уравнение заданной линии, отнесенное к осям  $xOy$ , проведенным в её плоскости, имеет вид:  $f(x, y) = 0$ .

Пусть на точку действует сила  $\vec{P}$ , расположенная в плоскости  $xOy$ . Согласно принципу освобожденности от связей заменим действие связи, нормальной реакцией  $\vec{N}$  и для рассматриваемой материальной точки составим дифференциальное уравнение ее движения в проекции на оси координат :

$$m\ddot{x} = X + N \cos(\vec{N}, \vec{i}); \quad m\ddot{y} = Y + N \cos(\vec{N}, \vec{j}).$$

Направляющие косинусы нормали к плоской кривой  $f(x, y) = 0$  определяются по формулам из дифференциальной геометрии:

$$\cos(\vec{N}, \vec{i}) = (\partial f / \partial x) \Delta f; \quad \cos(\vec{N}, \vec{j}) = (\partial f / \partial y) \Delta f;$$

$$\Delta f = \sqrt{(df / dx)^2 + (df / dy)^2}.$$

Из этих дифференциальных уравнений и уравнения связи можно определить неизвестные  $x$ ,  $y$  в зависимости от  $t$ , т.е. движения точки М, и найти значение реакции связи  $N$ . Тогда получим:

$$m(d^2s / dt^2) = P_t; mv^2 / \rho = P_n + N.$$

Эти уравнения называют уравнениями движения несвободной материальной точки в форме Эйлера. Для случая, когда точка М, двигаясь по плоской линии, испытывает сопротивление движению, основное уравнение динамики несвободной точки имеет вид:  $m\vec{a} = \vec{P} + \vec{N} + \vec{F}$

$$m(d^2s / dt^2) = P_t - F; \quad mv^2 / \rho = P_n + N.$$

Полученные уравнения позволяют определить уравнение движения точки по заданной траектории  $s = f(t)$ , значение нормальной реакции  $N$  и модуль силы трения  $F$ .

## РАЗГОН БЕЗ ПРОБУКСОВКИ

Е.И. Елисейкин, В.Н. Сидоров

Научный руководитель – В.Н. Сидоров, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Пробуксовка колес на твердой поверхности приводит к выделению большого количества тепла и появлению дыма. Этот эффект используется для прогрева покрышек во время автогонок или просто для развлечения.

Рассмотрим задачу по определению условий качения колеса по горизонтальной дороге.

Установим условия качения без скольжения по горизонтальному пути колеса, находящемуся или под действием горизонтальной силы  $\vec{P}$ , приложенной к его оси, или под действием пары сил с вращающим моментом  $\vec{M}$ .

Масса колеса равна  $m$ , вертикальное давление на ось  $\vec{Q}$ , радиус колеса  $r$ , радиус инерции колеса относительно его оси  $i_{C\zeta}$ , а коэффициент сцепления  $f_{\text{сц}}$ . Сопротивлением качения пренебрегаем.

Случай 1. На колесо действует горизонтальная сила  $\vec{P}$ , приложенная к его оси. Так как колесо совершает несвободное движение, то прежде всего освободимся от связи (горизонтальной поверхности), заменив ее действие нормальной реакцией дороги  $\vec{N}$  и силой сцепления  $\vec{F}_{\text{сц}}$ , направленной в сторону, противоположную той, куда приложенные к колесу силы стремятся сдвинуть его.

Направим ось  $x$  по направлению движения, а ось  $y$  – вертикально вверх. Составим дифференциальные уравнения движения колеса под действием внешних сил  $\vec{P}$ ,  $\vec{N}$ ,  $\vec{F}_{\text{сц}}$  и  $\vec{Q}$ .  $\vec{F}_{\text{сц}}$  – положительный момент.

$$m\ddot{x}_C = P - \vec{F}_{\text{сц}}, \quad m\ddot{y}_C = N - Q, \quad J_{C\zeta}\ddot{\varphi} = F_{\text{сц}}r.$$

Так как колесо катится без скольжения, то МЦС находится в точке соприкосновения колеса с дорогой, а потому

$$\dot{x}_C = v_C = r\omega = r\dot{\varphi}, \quad \ddot{x}_C = r\ddot{\varphi}.$$

Случай 2. В этом случае мы заменяем действие горизонтальной поверхности нормальной реакцией дороги  $\vec{N}$  и силой сцепления  $\vec{F}_{\text{сц}}$ . Так как точка касания колеса под действием пары сил стремится скользить влево, то сила сцепления  $\vec{F}_{\text{сц}}$ , действующая на колесо, направлена вправо, т.е. в сторону движения колеса. Тогда дифференциальные уравнения движения колеса будут иметь вид:

$$m\ddot{x}_C = \vec{F}_{\text{сц}}, \quad m\ddot{y}_C = N - Q, \quad J_{C\zeta}\ddot{\varphi} = M - F_{\text{сц}}r.$$

**О МОДИФИЦИРОВАННОЙ НЬЮТОНОВСКОЙ ДИНАМИКЕ****Ю.С. Канаев, В.Н. Сидоров**Научный руководитель – В.Н. Сидоров, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

MOND физическая гипотеза, альтернативная теория гравитации, предлагающая изменение в законе тяготения Ньютона, объясняющее вращение галактик без привлечения тёмной материи. Когда постоянная скорость обращения внешних частей галактик была впервые обнаружена, это было неожиданно, так как ньютоновская теория гравитации предсказывает, что чем дальше объект от центра, тем меньше его скорость. Например, для орбит планет солнечной системы скорость убывает с увеличением расстояния до Солнца. MOND стоит особняком от широко распространённых и практически общепринятых теорий тёмной материи. Теория тёмной материи предполагает наличие в каждой галактике не определённого ещё типа материи, что обеспечивает распределение массы, отличное от наблюдаемого для обычного вещества. По мнению ученых MOND имеет статус сомнительной теории, не имеющей существенной поддержки среди астрономов и астрофизиков. В 1983 году Мордехай Милгром, физик из Вейцмановского Института в Израиле, предоставил несколько интерпретаций его предложению, одна из них является модификацией второго закона Ньютона. Однако это предлагаемое толкование противоречит закону сохранения импульса и требует некоторых нетрадиционных физических допущений. Вторая интерпретация — изменение закона гравитации, требует, чтобы ускорение за счет силы тяжести зависело не просто от массы  $m$ , а от  $m\mu(a/a_0)$ . Где  $\mu$  — некоторая функция, величина которой стремится к единице для больших аргументов и к  $(a/a_0)$  для малых аргументов. Здесь  $a$  — ускорение, обусловленное силой тяжести, а  $a_0$  является константой, примерно равной  $10^{-10}$  м/с<sup>2</sup>. Центростремительное ускорение звезд и газовых облаков на окраине спиральных галактик, как правило, будет ниже  $a_0$ . Как Милгром доказал в своих статьях, форма  $\mu$  не меняет большинство следствий из теории, таких как уплощение кривых вращения галактик. В повседневном мире  $a$  гораздо больше  $a_0$  для всех физических эффектов, поэтому коэффициент  $\mu(a/a_0)$  практически равен единице и, следовательно, можно с большой степенью точности предполагать справедливость закона всемирного тяготения Ньютона (или второго закона Ньютона). Изменения в законе всемирного тяготения Ньютона являются незначительными, и Ньютон их по какой-то причине не увидел.

## О КАЧЕЛЯХ НА ГИБКИХ СВЯЗЯХ

**А.А. Клепцов, В.Н. Сидоров**

Научный руководитель – В.Н. Сидоров, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Очень часто неосторожное обращение с верёвочными качелями приводят к травмам, хотя они нравятся людям любого возраста. У детей они ассоциируются с полётами, взрослым же напоминают о детстве.

Как правильно использовать качели рассмотрим на следующем примере. Пусть груз подвешен на нити длиной  $l$ . В наинизшем положении грузу сообщена горизонтальная скорость  $v_0$ . Модуль реакции нити математического маятника в любом его положении определяется по известной формуле:

$$N = G(v_0^2/(g l) + 3\cos\alpha - 2\cos\alpha_0).$$

Положение груза, в котором нить перестанет его удерживать и он начнёт двигаться как свободная точка, определится из условия, что в этом положении реакции нити равна нулю:

$$N = 0; \quad v_0^2/(g l) + 3\cos\alpha - 2\cos\alpha_0 = 0.$$

Следовательно, искомое положение груза определяется:

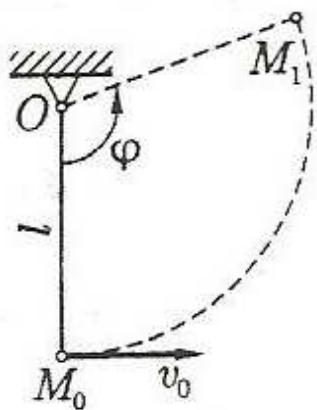
$$\cos\alpha = [2\cos\alpha_0 - v_0^2/(g l)]/3.$$

Минимальная начальная скорость в наинизшем положении, при котором груз опишет полную окружность, будет такой же, как и для прохождения полуокружности, и определяется из условия:

$$N \geq 0 \text{ при } \alpha = 180^\circ, \text{ т.е. } v_0^2/(g l) + 3\cos 180^\circ - 2 \geq 0,$$

откуда

$$v_0 \geq \sqrt{5gl} \quad \text{и} \quad v_0^{\min} = \sqrt{5gl}.$$





## О СКОЛЬЖЕНИИ КОЛЕСА

**М.А. Микрюков, В.Н. Сидоров**

Научный руководитель – В.Н. Сидоров, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Рассмотрим задачу о скольжении колеса веса  $G$  и радиуса  $r$ , катящегося по наклонной плоскости составляющей угол  $\alpha$  с горизонтом. Неподвижную систему координат свяжем с плоскостью, ось  $x$  направим вдоль траектории.

Через центр масс колеса  $C$  проведем оси  $\xi$  и  $\eta$  и ось  $\zeta$ , перпендикулярную плоскости чертежа. Составим дифференциальные уравнения движения колеса:

$$\begin{aligned} m\ddot{x}_c &= \sum X_i^E = G \sin \alpha - F_{\text{сц}}, \\ m\ddot{y}_c &= \sum Y_i^E = N - G \cos \alpha, \\ J_\zeta \ddot{\phi} &= \sum M_{i\zeta}^E = -F_{\text{сц}} r. \end{aligned}$$

Дифференциальные уравнения содержат три неизвестные величины:  $\ddot{x}_c, F_{\text{сц}}$  и  $\ddot{\phi}$ . Так как колесо катится без скольжения, то точка  $P$  является мгновенным центром скоростей среднего сечения. Поэтому:

$$v_c = \omega r.$$

Проекция скорости точки  $C$  на ось  $x$ :  $\dot{x}_c = v_c = \omega r = -r\dot{\phi}$ .

Алгебраическая величина угловой скорости  $\dot{\phi}$  отрицательна, т.к. цилиндр вращается по вращению часовой стрелки, т.е.  $\dot{\phi} = -\omega$ ,

Пусть момент инерции колеса относительно оси  $C\zeta$ ,

$$J_\zeta = \frac{mr^2}{2}$$

Подставив эти значения в уравнение, получим:

$$\frac{mr^2}{2} \left( -\frac{\ddot{x}_c}{r} \right) = -F_{\text{сц}} r, \text{ или } \frac{m\ddot{x}_c}{2} = F_{\text{сц}}.$$

Тогда  $\dot{x}_c$  и  $F_{\text{сц}}$ :

$$m\ddot{x}_c = G \sin \alpha - F_{\text{сц}}, \quad \frac{m\ddot{x}_c}{2} = F_{\text{сц}}, \quad (3/2) m\ddot{x}_c = G \sin \alpha,$$

откуда

$$\ddot{x}_c = (2/3) (G/m) \sin \alpha = (2/3) g \sin \alpha, \quad F_{\text{сц}} = \frac{m\ddot{x}_c}{2} = (1/3) G \sin \alpha.$$

Полученный результат показывает, что центр масс колеса движется равноускоренно с ускорением  $a_c = |\ddot{x}_c| = (2/3) g \sin \alpha$ , не зависящим от его веса. Для определения угла наклона плоскости, при котором начинается скольжение колеса воспользуемся известным из статики соотношением:

$$F_{\text{сц}} \leq F_{\text{сц}}^{\text{max}} = f_{\text{сц}} N.$$

Подставим значения  $F_{\text{сц}}$  и  $N$ :  $(1/3) G \sin \alpha \leq f_{\text{сц}} G \cos \alpha$ , откуда  $\text{tg} \alpha \leq 3 f_{\text{сц}}$ .

Таким образом, скольжение колеса начнется при  $\alpha = \arctg f_{\text{сц}}$ .

## О ГАМИЛЬТОНОВОЙ МЕХАНИКЕ

К.В. Минеев, В.Н. Сидоров

Научный руководитель – В.Н. Сидоров, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Механика Уильяма Гамильтона предложена в 1833 году и является одной из формулировок классической механики. Она возникла из классической механики, предложенной Лагранжем в 1788 году. В лагранжевой механике механическая система характеризуется так называемым лагранжианом:  $L(q, \dot{q}, t)$  — функцией обобщённых координат  $q$  и соответствующих скоростей  $\dot{q}$  и времени  $t$ . В гамильтоновой механике вводится понятие обобщённых импульсов, сопряжённых обобщённым ко-

ординатам и определяемых через лагранжиан:

$$p = \frac{\partial L}{\partial \dot{q}}.$$

В декартовых координатах обобщённые импульсы — это физические линейные импульсы. В полярных координатах обобщённый импульс, соответствующий угловой скорости — физический угловой момент. Векторное уравнение Эйлера — Лагранжа тогда имеет вид:

$$\dot{p} = \frac{\partial L}{\partial q}.$$

С помощью преобразования Лежандра лагранжиана определяется функция Гамильтона — гамильтониан:

$$H(q, p, t) = \sum_i \dot{q}_i p_i - L(q, \dot{q}, t).$$

Полный дифференциал гамильтониана представляется в виде:

$$dH = \sum_i \left[ \frac{\partial H}{\partial q_i} dq_i + \frac{\partial H}{\partial p_i} dp_i \right] + \left( \frac{\partial H}{\partial t} \right) dt.$$

Уравнения движения гамильтоновой механики, известные как канонические уравнения Гамильтона:

$$\frac{\partial H}{\partial q_j} = \dot{p}_j, \quad \frac{\partial H}{\partial p_j} = \dot{q}_j, \quad \frac{\partial H}{\partial t} = -\frac{\partial L}{\partial t}$$

Уравнения Гамильтона представляют собой дифференциальные уравнения первого порядка, и вообще говоря их легче решать, чем уравнения Лагранжа, которые вообще говоря являются дифференциальными уравнениями второго порядка.

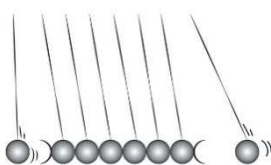
## АНТОЛОГИЯ МАЯТНИКОВ. ЧАСТЬ I

Р.Н. Оленин, В.Н. Сидоров

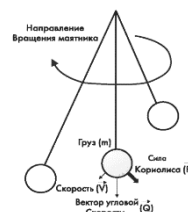
Научный руководитель – В.Н. Сидоров, д-р техн. наук, профессор  
Ярославский государственный технический университет

Наша жизнь – сплошные колебания, они окружают нас везде: день сменяет ночь, радость сменяет печаль, надежда сменяет отчаяние и наоборот. Так и в науке существуют колебания разного происхождения и вида.

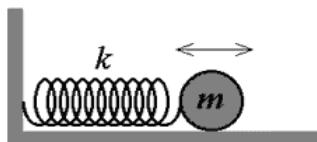
Маятник Ньютона — механическая система, придуманная Исааком Ньютоном для демонстрации преобразования энергии различных видов друг в друга: кинетической в потенциальную и наоборот.



Маятник Фуко — маятник, используемый для экспериментальной демонстрации суточного вращения Земли.

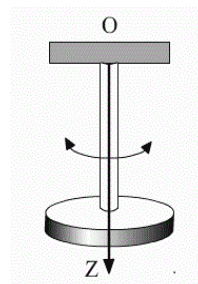


Пружинный маятник — механическая система, состоящая из пружины с коэффициентом упругости (жесткостью)  $k$  (закон Гука), один конец которой жестко закреплён, а на втором находится груз массы  $m$ .

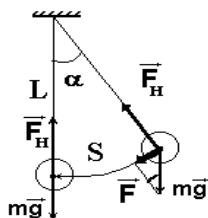


Крутильный маятник — механическая система, представляющая собой тело, подвешенное в поле тяжести на тонкой нити и обладающее лишь одной степенью свободы: вращением вокруг оси, задаваемой неподвижной нитью.

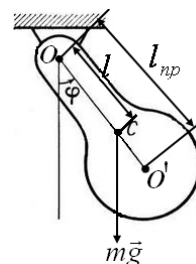
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{K}},$$



Математический маятник — осциллятор, представляющий собой механическую систему, состоящую из материальной точки, находящейся на невесомой нерастяжимой нити или на невесомом стержне в однородном поле сил тяготения.



Физический маятник — твёрдое тело, совершающее под действием силы тяжести колебания вокруг горизонтальной оси подвеса.



## **АНТОЛОГИЯ МАЯТНИКОВ. ГЕНЕРАТОР ВОЛН МАЯТНИКОВ. ЧАСТЬ II**

**В.И. Пахомов, В.Н. Сидоров**

Научный руководитель – В.Н. Сидоров, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Все происходящие в природе физические процессы делятся на два типа: обратимые и необратимые. Примерами таких процессов являются:

Маятник Жуковского - в начальном положении стержень находится на двух валиках, вращающихся навстречу друг к другу. Из-за неровности и не идеальности поверхностей валиков сила трения с одним из валиков будет больше, и стержень, увлекаемый им, начинает движение сначала в одну сторону, затем в другую. Этот процесс продолжается циклически. (См. задачу 32.10 сборник задач по теоретической механике И. В. Мещерский).

Маятник Максвелла - это устройство, состоящее из массивного диска, симметрично и жестко закрепленного на горизонтальной оси, подвешенной на двух нерастяжимых нитях. Выведенный из состояния равновесия маятник может совершать колебательные движения в вертикальной плоскости.

Баллистический маятник - прибор для определения эффективности взрывчатого вещества.

Маятник Галилея представляет собой математический маятник.

Маятник Пошехонова - гантелеобразный физический маятник может совершать колебания вокруг горизонтальной оси, проходящей немного выше его центра тяжести. Эта ось в свою очередь укреплена в вилке, которая может свободно вращаться в подшипниках вокруг вертикальной оси. (А. с. СССР №94733, 1951).

Генератор волн маятников - система, состоящая из цепи маятников, закрепленных на нитях разной длины. При отклонении всей цепи на одинаковый угол и «запуске» цепи, каждый маятник начинает колебаться со своей собственной частотой, вследствие чего можно наблюдать эффект «бегущей волны маятников».

## КАК ПРЫГНУТЬ ДАЛЬШЕ

М.А. Пинаев, В.Н. Сидоров

Научный руководитель – В.Н. Сидоров, д-р техн. наук, профессор

*Ярославский государственный технический университет*

Прыжок в длину со специальным грузом, который перед приземлением отбрасывался назад, был распространённой дисциплиной античных олимпийских игр. По имеющимся данным древнегреческий атлет Хионис на играх, прошедших в 656 году до нашей эры, достиг результата 7,05 м. Так ли это?

Пусть спортсмен весом  $G$ , оттолкнувшись от трамплина, имеет скорость  $\vec{v}_0$ , направленную под углом  $\alpha$  к горизонту, и движется в воздухе, держа в руках гирию весом  $Q$ . В наивысшей точке своей траектории он отбрасывает гирию назад с горизонтальной относительной скоростью  $\vec{u}$ .

Будем рассматривать механическую систему гимнаст – гирия как систему двух материальных точек весом  $G$  и  $Q$ . Если сопротивление воздуха не учитывается, то внешними силами, действующими на систему во время прыжка, являются силы тяжести  $\vec{G}$  и  $\vec{Q}$ .

Движение спортсмена вместе с гирией под действием сил тяжести должно происходить по параболе согласно уравнениям

$$x = v_0 t \cos \alpha \quad y = v_0 t \sin \alpha - gt^2/2.$$

В наивысшей точке  $B$  траектории спортсмен, отбросивший гирию со скоростью  $\vec{u}$ , приобретает скорость  $\vec{v}_1$ . Абсолютная скорость гири в этот момент горизонтальна:  $v_0 \cos \alpha - u$ , а проекция количества движения системы, выраженная через скорость спортсмена и гири:

$$K'_x = \sum m_i v_{ix} = (G/g)v_1 + (G/g)(v_0 \cos \alpha - u),$$

откуда  $v_1 = v_0 \cos \alpha + (Q/G) \cdot u$ .

Эта формула показывает, что отбрасывание назад гири со скоростью  $u$  увеличивает горизонтальную скорость спортсмена на величину  $(Q/G) \cdot u$ . Отбрасывая гирию назад, спортсмен может прыгнуть дальше. Это объясняется тем, что при сохранении горизонтальной проекции количества движения системы происходит её перераспределение между частями системы в результате взаимодействия этих частей.

## О КОЛЕБАНИИ ДВУХОПОРНОЙ БАЛКИ

Ю.А.Тополь, В.Н. Сидоров

Научный руководитель – В.Н. Сидоров, д-р техн. наук, профессор

*Ярославский государственный технический университет*

Рассмотрим задачу об определении циклической частоты и периоде малых свободных колебаний груза весом  $G$ , лежащего на двухопорной балке. Расстояния груза от опор балки равны  $a$  и  $b$ . Модуль упругости материала балки равен  $E$ , момент инерции поперечного сечения –  $J$ . Весом балки пренебрегаем.

Совместим начало координат с положением покоя груза и направим ось  $y$  вертикально вниз. За обобщённую координату системы примем координату груза  $y$ . На груз действуют следующие силы: сила тяжести  $\vec{G}$  и реакция упругой балки  $\vec{P}$ . Циклическую частоту колебаний груза, лежащего на упругой балке, определим по уравнению Лагранжа второго рода:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{y}} \right) - \frac{\partial T}{\partial y} = - \frac{\partial \Pi}{\partial y}.$$

Кинетическая энергия груза (материальной точки)  $T = 0.5m\dot{y}^2$ . Найдём необходимые для уравнения Лагранжа производные:

$$\frac{dT}{dy} = 0, \quad \frac{\partial T}{\partial \dot{y}} = m\dot{y}, \quad \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{y}} \right) = m\ddot{y}.$$

Потенциальную энергию системы определим как сумму потенциальной энергии:  $\Pi_I = -Gy$ , соответствующей силе тяжести, и потенциальной энергии:  $\Pi_{II} = 0.5c(f_{ст} + y)^2 - 0.5cf_{ст}^2 = cf_{ст}y + 0.5cy^2$ , соответствующей силе упругости. За нулевое положение примем положение покоя груза на балке, имеющей прогиб  $f_{ст}$ . Потенциальную энергию найдём как работу сил  $\vec{G}$  и  $\vec{P}$  при перемещении груза, имеющего координату  $y$ , и нулевое положение.

В состоянии покоя  $G = cf_{ст}$ , то  $\Pi = 0.5cy^2$ . Тогда решение уравнения Лагранжа второго рода имеет вид:  $m\ddot{y} = -cy$  и является дифференциальным уравнением свободных колебаний груза.

Циклическая частота свободных колебаний груза, лежащего на упругой балке:  $k = \frac{1}{ab} \sqrt{\frac{3EJg(a+b)}{G}}$ . Коэффициент жесткости  $c$  для балки с шарнирными опорами и расположением груза:  $c = \frac{3EJ(a+b)}{a^2b^2}$ . Тогда период колебаний груза  $T = \frac{2\pi}{k} = 2\pi ab \sqrt{\frac{G}{3EJg(a+b)}}$ .

**"КОЛЫБЕЛЬ НЬЮТОНА".  
ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ.  
ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА"**

**М.В. Хренов, В.Н. Сидоров**

Научный руководитель – В.Н. Сидоров, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Колыбель Ньютона – механическая модель, созданная Исааком Ньютоном для демонстрации преобразования энергии различных видов друг в друга.

Закон сохранения механической энергии – если в замкнутой системе не действуют силы трения и силы сопротивления, то сумма кинетической и потенциальной энергии всех тел системы остаётся величиной постоянной,

$$T + \Pi = h.$$

Закон сохранения импульсов – векторная сумма импульсов всех тел системы есть величина постоянная, если векторная сумма внешних сил, действующих на систему, равна нулю,

$$\vec{Q} - \vec{Q}_0 = \vec{S}^e.$$

Если отклонить первый шарик и отпустить, то его энергия и импульс передадутся без изменения через 3 средних шарика последнему, который приобретёт ту же скорость и ту же высоту. Он, в свою очередь, передаст импульс и энергию обратно первому шарiku. Если бы не было потерь механической энергии вследствие работы сил трения и упругости, то колебания продолжались бы вечно. Но из-за действия диссипативных сил на данную механическую систему они затухают.

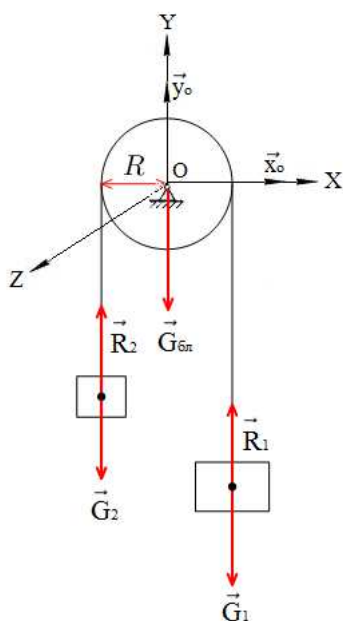
Шары Ньютона приобрели популярность в конце 1960 года. Использовали их для подсчёта времени или успокоения нервов. Подвешенные на стальной проволоке шары Ньютона ритмическим покачиванием и стуком успокаивают расстроенные нервы, снимают напряжение и усталость, дают импульс позитивным мыслям.

## О МАШИНЕ АТВУДА С.И. Цанга, В.Н. Сидоров

Научный руководитель – В.Н. Сидоров, д-р техн. наук, профессор  
Ярославский государственный технический университет

С целью проведения опытов по свободному падению тел требуется значительная высота экспериментальной установки. При помощи машины Джорджа Атвуда (1745-1807) возможно замедлить движение тел до рациональных скоростей и исследовать закон движения тел в поле сил земного тяготения.

Рассмотрим динамику равноускоренного движения системы тел, состоящей из двух грузов, подвешенных к концам невесомой нити, перекинутой через блок. На каждый груз будут действовать по две силы: силы



тяжести  $\vec{G}_1$ ,  $\vec{G}_2$  и реакции нити  $R_1$ ,  $R_2$ , под действием которых грузы будут перемещаться в вертикальной плоскости. Направление ускорения принято для случая, когда  $m_1 > m_2$ .

Запишем уравнения движения каждого груза:  $m_1 \vec{a} = m_1 \vec{g} + \vec{R}_1$ ;  $m_2 \vec{a} = m_2 \vec{g} + \vec{R}_2$ . Так как масса блока отлична от нуля, то силы натяжения нити не равны между собой, следовательно, возникает пара сил с моментом, равным моменту вращения блока. Дополним систему уравнений законом движения ка:  $Mz = Iz\varepsilon$ . Считая блок однородным диском, выразим момент инерции блока:  $Iz = 0,5m_{\text{бл}}R^2$ . Учитывая, что нить не скользит по блоку, линейное ускорение её точек связано с угловым ускорением блока соотношением:

$a = \varepsilon R$ . Решая систему уравнений для движения грузов, получим выражение для ускорения системы:

$$a = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 + m_2 + \frac{m_{\text{бл}}}{2})}; \quad a = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 + m_2)} \text{ (без учёта массы блока).}$$

Если массу блока учитывать, то на величину ускорения влияют массы грузов и масса блока. Если массу блока не учитывать, то на величину ускорения влияют лишь массы грузов.



## К РАСЧЕТУ БАРАБАННОГО ГРАНУЛЯТОРА

**М.В. Козлов, В.Н. Сидоров**

Научный руководитель – В.Н. Сидоров, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Барабанные грануляторы широко используются во многих отраслях промышленности. Использование внутренних устройств позволяет интенсифицировать процесс роста гранул и создать условия для получения гранул более однородного состава.

При движении гранул в барабане с внутренним устройством выделяются две зоны различного поведения: в нижней зоне под внутренним устройством происходит транспортирование материала; в верхней области происходит скатывание гранул по поверхности вспомогательного устройства. Основным параметром, определяющим рост гранул, является угловая скорость их собственных вращений, которая рассчитывается по формуле

$$\tilde{\omega} = \frac{\partial v}{\partial n} - \frac{1}{2} \text{rot}_z \vec{v}, \quad (1)$$

где величины  $\frac{\partial v}{\partial n}$  и  $\text{rot}_z \vec{v}$  определяются соответственно выражениями

$$\frac{\partial v}{\partial n} = \frac{v_y}{v} \cdot \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{v_x}{v} \cdot \frac{\partial v}{\partial y}; \quad (2)$$

$$\text{rot}_z \vec{v} = \frac{\partial v_y}{\partial x} - \frac{\partial v_x}{\partial y}, \quad (3)$$

где  $v_x, v_y$  - проекции скорости гранул на оси координат, одна из которых направлена вдоль поверхности внутреннего устройства;  $v$  - модуль скорости гранул.

При расчете собственных вращений предполагаем, что гранулы движутся почти параллельно поверхности внутреннего устройства и распределение скоростей имеет линейный характер. При этом на границе с подвижным устройством гранулы имеют скорость, равную скорости ленты.

Для расчета скоростей и собственных вращений гранул используется также условие равенства расходов. Величина расхода записывается в виде:

$$Q(x) = \rho \int_{y_{\min}(x)}^{y_{\max}(x)} v_x(x, y) dy, \quad (4)$$

где  $\rho$  - плотность материала;  $y_{\min}(x), y_{\max}(x)$  - соответственно минимальное и максимальное значение координаты  $y$  в сечении.

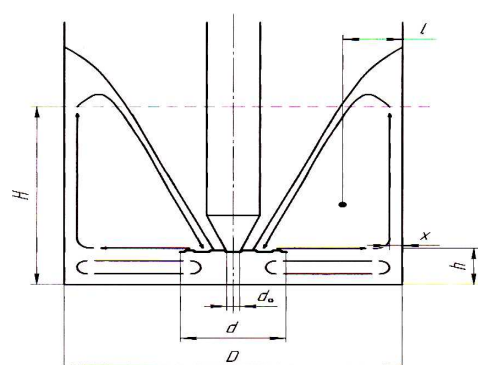
За счет использования внутреннего устройства достигаются большие скорости собственных вращений гранул при одних и тех же затратах энергии.

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СОВМЕЩЕННОГО ПРОЦЕССА СМЕШЕНИЯ-ДЕЗАГРЕГИРОВАНИЯ В РОТОРНОМ АППАРАТЕ

Н.Ю. Ширина, В.Н. Сидоров

Научный руководитель – В.Н. Сидоров, д-р техн. наук, профессор  
Ярославский государственный технический университет

Процесс смешения описывается в системе координат, вращающейся вместе с валом. В выбранной системе координат при вращении турбинной мешалки выделяются два циркуляционных контура: верхний и нижний. Процесс смешения происходит преимущественно в верхнем и контуре за



счет случайного блуждания частиц твердой фазы в направлении перпендикулярном к направлению потока. Расчетная схема представлена на рисунке.

Поток массы твердых частиц через поверхность циркуляционного контура определяется выражением

$$w = \langle D \rangle \frac{\partial c}{\partial x} S(x), \quad (1)$$

где  $c$  - концентрация твердой фазы,

$\langle D \rangle$  - среднестатистический коэффициент макродиффузии,  
 $x$  - координата, определяющая положение циркуляционного контура,  
 $S(x)$  - площадь поверхности циркуляционного контура.

Изменение количества твердой фазы в единицу времени в циркуляционном слое толщиной  $dx$  будет определяться разностью потоков массы:

$$d(c(x,t)S(x)) = \langle D \rangle \left( \frac{\partial c(x+dx,t)}{\partial x} S(x+dx) - \frac{\partial c(x,t)}{\partial x} S(x) \right) dt. \quad (2)$$

Выполняя предельный переход, получим следующее уравнение:

$$\frac{\partial}{\partial t} (S(x)c(x,t)) = \langle D \rangle \frac{\partial}{\partial x} \left( S(x) \frac{\partial c(x,t)}{\partial x} \right). \quad (3)$$

Граничное условие составляется из тех соображений, что на границе циркуляционных контуров перенос твердой фазы во внешнюю среду отсутствует:

$$\frac{\partial c(0,t)}{\partial x} = 0. \quad (4)$$

Нетрудно убедиться, что уравнение (3) полностью соответствует условию сохранения массы:

$$\int_0^l c(x,t) S(x) dx = M / \rho_T, \quad (5)$$

где  $M$  - масса твердой фазы,  $\rho_T$  - истинная плотность твердой фазы.

## МЕХАНИЧЕСКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ СКОРОСТИ

**Е.А. Костюничев**

Научный руководитель – В.Н. Сидоров, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Для контроля скорости выходного вала на длительных промежутках времени необходимы системы автоматического управления. В случае паровых машин речь идет о центробежных регуляторах. Они делятся на статические, астатические и псевдо статические.

Известно, что статические системы регулирования характеризуются наличием постоянной ошибки. Статические регуляторы, к которым относится **регулятор Уатта**, обладают широким диапазоном равновесных скоростей. Этот диапазон определяет ошибку регулирования и чем он меньше, тем точнее работает регулятор. При постоянной частоте грузы регулятора находятся в равновесии под действием сил инерции и сил тяжести. С увеличением частоты равновесие нарушается, так как сила инерции изменяется. Грузы и муфта переходят в новое положение, регулируя тем самым количество поступающего пара.

Чем меньше у регулятора коэффициент неравномерности, тем регулятор ближе к астатичности. Астатические регуляторы также называются изохронными, так как время одного оборота регулятора вокруг своей оси в состоянии равновесия будет одинаковым при любом положении грузов, к примеру, **Регулятор Гарнетта**. Здесь грузы прикреплены к жесткой направляющей раме, задающей параболическую траекторию их движения.

Благодаря работам Вышнеградского, на практике стали применяться регуляторы, у которых значение коэффициента неравномерности было достаточно малым для устойчивой работы регулятора, но при этом обеспечивало небольшие колебания скорости. Такие регуляторы получили название псевдоастатических регуляторов. Например, **Регулятор Клея**. Получить малый коэффициент неравномерности позволяют перекрещивающиеся тяги. Но такая реализация требует большой высоты конструкции, поэтому к недостаткам этой модели можно отнести её значительные габариты.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СМЕШЕНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В НОВОМ АППАРАТЕ С ПОДВИЖНОЙ ЛЕНТОЙ**

**М.Н. Бакин, А.Б. Капранова, А.Е. Лебедев**

Научные руководители – А.Б. Капранова, д-р физ.-мат. наук, профессор;

А.Е. Лебедев, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

Принцип действия нового аппарата для смешения сыпучих материалов с использованием подвижной ленты и эластичных рабочих элементов основан на порционном (постепенном) внесении материала, содержание которого значительно больше (1:10 и более) в другой. Такой способ позволяет равномерно распределить частицы меньшего компонента в объеме смеси, а также эффективно смешивать склонные к слипанию материалы, в том числе влажные и склонные к сегрегации. Рабочие элементы в виде гибких биллов расположены по спирали с шагом  $h_s = 16$  мм на поверхностях барабанов, причем каждый последующий барабан имеет обратное по отношению к предыдущему направление спирали.

Как показали опытные исследования по смешению влажных и склонных к агрегатированию материалов, применение метода постепенного введения одного из компонентов позволяет снизить коэффициент неоднородности смеси на 5-7 %.

В ходе эксперимента определены зависимости коэффициента неоднородности смеси  $V_C$  от частоты вращения смесителей  $n$ , величины деформации биллов  $f_0-h$ , величины подачи сыпучего материала  $Q$  при следующих условиях:

- $V_C = f(n)$  при  $f_0-h=15$  мм и  $Q=0,008 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;
- $V_C = f(f_0-h)$  при  $n=500 \text{ мин}^{-1}$  и  $Q=0,008 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;
- $V_C = f(Q)$  при  $n=500 \text{ мин}^{-1}$  и  $f_0-h=15$  мм.

С увеличением частоты вращения смесителей от 100 до 500  $\text{мин}^{-1}$  наблюдается существенное снижение коэффициента неоднородности от 14,3 % до 3,7 % (для сухих материалов) и от 20,4 % до 7,3 % (для влажных материалов). Дальнейшее увеличение частоты не ведёт к снижению  $V_C$ .

С увеличением величины деформации биллов от 0 до 15 мм наблюдается снижение коэффициента неоднородности от 10,4 % до 3,5 % (для сухих материалов) и от 17,3 % до 7,5 % (для влажных материалов). Дальнейшее увеличение величины деформации ведёт к увеличению  $V_C$ .

С увеличением величины подачи сыпучего материала от 0,004 до 0,016  $\text{мин}^{-1}$  наблюдается увеличение коэффициента неоднородности от 3,6 % до 7,9 % (для сухих материалов) и от 6,8 % до 14,2 % (для влажных материалов).

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ТВЁРДЫХ ЧАСТИЦ ПРИ СРЫВЕ С ГИБКИХ ЭЛЕМЕНТОВ СМЕСИТЕЛЯ**

**М.Н. Бакин, А.Б. Капранова, А.И. Зайцев**

Научные руководители – А.Б. Капранова, д-р физ.-мат. наук, профессор;

А.И. Зайцев, д-р техн. наук, профессор

*Ярославский государственный технический университет*

Одним из наиболее эффективных аппаратов для смешивания сыпучих компонентов, когда количество одного из них значительно превышает количество второго, является аппарат с подвижной лентой и гибкими элементами (билами), установленными на поверхностях вращающихся барабанов вдоль винтовой линии с заданным шагом.

Стохастический подход предполагает моделирование профиля скоростей движения твердых частиц при срыве с гибких элементов аппарата. При прохождении биллов в зазоре высотой между барабаном и движущейся лентой со слоями смешиваемых компонентов, происходит упругая деформация гибких элементов. При этом формирование стохастической энергии частицы, разбрасываемой билами барабанов, зависит от представления скорости их движения в момент отрыва от гибких органов.

Пусть декартова система координат имеет центр на оси вращения барабана, ось абсцисс направлена вниз, перпендикулярно горизонтальной ленте, а ось ординат – вдоль движения ленты. Моделирование геометрического местоположения концов деформированных биллов в проекции на плоскость  $Oxy$  приводит к уравнению спиральной кривой в полярной системе координат. Окружная полярная координата конца каждого била при отсчете от оси  $Ox$ , направленной вертикально вниз, задается суммой радиальных углов – угла между точками закрепления соседних гибких элементов и угла разбрасывания твердых частиц – между радиусом барабана в точке закрепления деформированного била и радиальной координатой его свободного конца.

Направление проекции скорости твердых частиц при срыве с гибких элементов соответствует касательной к полученной спиральной кривой. Анализ геометрических особенностей деформации биллов позволяет связать указанную проекцию скорости твердых частиц (как сумму составляющих векторов в каждой из двух систем координат – декартовой и полярной) с уравнением спиральной кривой, а также углом между отрезком полярной нормали и радиус-вектором точки свободного конца била.

Аналогично определяется связь между двумя проекциями скорости срывающейся с била частицы на плоскости  $Oxy$  и  $Oxz$ , когда  $z$ -ось сонаправлена с горизонтальной осью вращения барабана.

## **О ДВИЖЕНИИ ЧАСТИЦ ПО ПРОДОЛЬНО КОЛЕБЛЮЩЕЙСЯ ПОВЕРХНОСТИ ГРОХОТА**

**А.А. Ватагин, А.И. Зайцев**

Научный руководитель – А.И. Зайцев, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Просеивающая поверхность подвешена на жестких шарнирных стержнях и может совершать колебания по дуге окружности. Система представляет собой физический маятник, совершающий вынужденные колебания.

Амплитуда таких колебаний не превышает 1 см, что при радиусе подвеса, превышающем 1 м, позволяет считать колебания малыми. Продольные колебания поверхности происходят по закону  $x = A \sin(\omega t + \varphi)$ , где  $A$  - амплитуда,  $\omega$  и  $\varphi$  - частота и начальная фаза колебаний.

Анализ уравнения движения показывает, что покоящаяся частица остается в покое до тех пор, пока продольная сила инерции не превысит пороговую силу трения, определяемую нормальным давлением, формируемым силой веса и центробежной силой инерции. Если эти силы затормозят частицу до нулевой скорости, она снова окажется в покое.

Расчеты показывают, что при возможных для грохочения характеристиках колебаний поверхности ( $A < 0,01$  м,  $\omega < 100$  с<sup>-1</sup>,  $R > 1$  м) центробежная сила инерции много меньше силы веса и ей можно пренебречь без ущерба для точности расчетов.

Точность расчетов при анализе зависимости амплитуды колебаний частицы от частоты колебаний поверхности можно сделать вывод, что с уменьшением амплитуды колебаний поверхности увеличивается критическая частота её колебаний, с которой начинается движение, а с ростом частоты амплитуда колебаний частицы асимптотически стремится к амплитуде колебаний поверхности.

Данные зависимости могут быть обобщены, если в качестве аргумента принять отношение фактической частоты к критической, а в качестве функции использовать отношение относительную амплитуду движения частиц  $Ar/A$ . В этом случае связь всех параметров стягивается в одну кривую.

## **ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ДЕАЭРАЦИИ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**И.И. Верлока, А.Б. Капранова, А.И. Зайцев**

Научные руководители – А.Б. Капранова, д-р физ.-мат. наук, профессор;  
А.И. Зайцев, д-р техн. наук, профессор

*Ярославский государственный технический университет*

Процесс деаэрации тонкодисперсных материалов, являясь одним из этапов переработки сыпучих сред и только первой стадией в процессе прессования, заключается в уменьшении их объема без упругопластических деформаций дисперсных частиц, т.е. за счет удаления газа из пор. Данная технологическая операция в аппаратах химической технологии может выполняться в трех вариантах: как самостоятельная, в последовательной (или совмещенной) технологической цепи с другими процессами переработки, например, измельчением и смешиванием сыпучих компонентов. Сложности моделирования деаэрации порошков связаны с необходимостью учета множества факторов, влияющих на движение уплотняемого материала в рабочем объеме аппарата, его неоднородностью, хаотичностью движения составляющих частиц, различными способами уплотнения (механическим, пневматическим или вибрационным) и т.д.

На базе механики гетерогенных сред построена модель деаэрации порошков, которая предлагает: (1) провести описание смеси твердые частицы - газ в целом и отдельно несущей фазы; (2) составить замкнутые системы уравнений в продольной и поперечной плоскостях движения среды согласно особенностям рабочих объемов уплотнителей, формируя, таким образом, плоско-деформационные модели в удобной системе координат; (3) ввести четыре вида дополнительных допущений (об отсутствии упругопластических деформаций частиц, о влиянии вязкости газа только на взаимодействие фаз, о пренебрежении силами межфазного взаимодействия, о достаточно медленном характере протекания процесса); (4) обосновать применение упрощенного варианта обобщенного закона Гука анализом компрессионных кривых зависимости пористости порошка от давления при одноосном сжатии материала при изменении давлений в пределах  $(1-3) \cdot 10^5$  Па; (5) учесть возможный эффект проскальзывания материала вдоль стенок рабочих объемов деаэраторов при формулировании граничных условий. Указанная модель применялась для разработки инженерных методик расчета новых аппаратов – деаэраторов порошков шнекового, ротационного и валкового типов; барабанно-валкового типа с последовательными процессами смешения и деаэрации сыпучих сред; устройств для изготовления уплотненных гранул-сфер.

## МОДЕЛЬ СМЕШИВАНИЯ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА В УСТРОЙСТВЕ ГРАВИТАЦИОННО-ПЕРЕСЫПНОГО ДЕЙСТВИЯ

**М.В. Волков, М.Ю. Таршис**

Научный руководитель – М.Ю. Таршис, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Рассматривается математическая модель процесса смешивания в смесителе гравитационно-пересыпного действия, основанная на использовании теории марковских процессов. При вращении рабочей поверхности, имеющей форму круглого цилиндра, сыпучие компоненты перемещаются вверх. При превышении наклона свободной поверхности материала угла естественного откоса, начинается обрушение. Смешивание компонентов происходит в области, над линией обрушения. В нижней области, смешивание отсутствует. Разобьём сечение материала радиальными линиями, проходящими через центр цилиндра  $O$  с шагом  $\Delta\varphi$ , и дугами концентрических окружностей с центром  $O$  на ячейки равной площади. Координата  $i$ -й ячейки в цилиндрической системе:

$$r_i = R\sqrt{i/n}, \quad (1)$$

где  $R$  - радиус барабана,  $i$  - номер ячейки по координате  $r$ ,  $n$  - количество ячеек на радиусе  $R$ .

Вероятность нахождения ключевого компонента в ячейке

$$p = \omega\Delta t / \Delta\varphi, \quad (2)$$

где  $\omega$  - угловая скорость барабана,  $\Delta t$  - шаг по времени.

Пусть  $c_{ij}^t$  - концентрация ключевого компонента в ячейке с номером  $ij$  (по радиусу и угловому шагу соответственно) в момент времени  $t$ . Концентрация ключевого компонента, через интервал времени  $\Delta t$ :

$$c_{ij}^{t+\Delta t} = (1-p)c_{ij}^t \quad (3)$$

Концентрация ключевого компонента в соседней ячейке:

$$c_{ij}^{t+\Delta t} = p_{j+1} \cdot c_{ij+1}^t \quad (4)$$

Суммируя слагаемые по сечению, получим концентрацию ключевого компонента в произвольной ячейке транспортного слоя в момент  $t + \Delta t$ :

$$c_{ij}^{t+\Delta t} = (1-p) \cdot c_{ij}^t + p_{j+1} \cdot c_{ij+1}^t \quad (5)$$

Отдельно рассматриваются области поведения сыпучего материала.

Модель отличается тем, что учитывает только конвективный перенос вещества без диффузии. Это приближает описание к реальному процессу. Используется допущение о линейности свободной поверхности сыпучего материала в области обрушения (при изменении скорости на линии обрушения).



## **ОСОБЕННОСТИ ДВИЖЕНИЯ НЕСФЕРИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ ПРИ ТЕЧЕНИИ НЕСУЩЕЙ СРЕДЫ ПО ТРУБАМ**

**М.С. Гречаников, А.Б. Капранова, А.Е. Лебедев**

Научные руководители – А.Б. Капранова, д-р физ.-мат. наук, профессор;

А.Е. Лебедев, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

Особый интерес для технических приложений вызывают особенности движения несферических частиц при течении по трубам несущей среды, в том числе, жидкой или газообразной. Например, движение: растворенных макромолекул; древесных частиц в составе суспензий при производстве бумажной продукции; армирующих элементов в расплавах полимеров; составляющих крови в сосудах живых организмов и т.д.

Течение несжимаемой жидкости обычно описывается системой дифференциальных уравнений в частных производных – неразрывности и движения Навье-Стокса. Анализ перемещений частиц (твердых, воздушных пузырей или капель другой жидкости, несмешивающейся с несущей средой) проводится в зависимости от двух параметров: числа Рейнольдса, характеризующего соотношение инерционных эффектов и вязких свойств несущей среды, а также отношения размеров дисперсных частиц и радиуса трубы. Ограничиваясь условием ламинарности течения жидкостной среды в трубе при достаточно малых значениях числа Рейнольдса ( $10^{-3}$ ), пренебрегаем диффузией данных частиц в радиальном направлении за счет турбулентных пульсаций. Тогда локальные течения суспензии вокруг частицы можно считать вязкими, а движение несущей фазы описывать уравнениями «ползущего» потока (Стокса). Исследование поведения частиц в потоке суспензии включает выявление: условий их движения к стенке трубы или от неё; вида распределения частиц по её радиусу; формы профилей скоростей среды и частиц; необходимого градиента давления. Теоретические (методом зеркальных отражений) и опытные исследования показали, что при течении восходящего потока суспензии в вертикальной трубе сферическая твердая частица с ненулевой (или нулевой) плавучестью с внешней силой параллельной направлению движения жидкости не мигрирует радиально от центра трубы к стенке. При этом гидродинамические сила и момент, действующие на указанную частицу, с учетом заданных функций влияния стенок имеют зависимость от линейной скорости центра сферы, а данный момент – еще и от угловой скорости ее вращения. Для движения несферических частиц (сфероидов, удлиненных осесимметричных, плоских длинных и т.п.) наблюдается зависимость этих силы и момента от обеих кинематических характеристик, а значит, и радиальное движение таких частиц в трубе возможно.

## УПРУГОЕ СКОЛЬЖЕНИЕ И РАСЧЕТ СИЛ В РЕМЕННОЙ ПЕРЕДАЧЕ

Т.А. Денисова, М.Ю. Таршис

Научный руководитель – М.Ю. Таршис, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Движение ремня по шкиву ременной передачи сопровождается упругим скольжением. Это явление впервые было изучено Н.Е. Жуковским. Окружная сила  $F_\tau$  в передаче связана с вращающим моментом  $T$  и диаметром  $d$ :

$$F_\tau = F_1 - F_2 = 2T/d, \quad (1)$$

где  $F_1, F_2$  - натяжения в ветвях ремня.

Для данной – фрикционной передачи начальное натяжение – необходимое условие её работы.

Рассмотрим равновесие элемента клинового ремня на шкиве под действием нормальных сил  $F$  и  $F + dF$ , сил нормального давления  $dF_n$ , радиальной и окружной (трения) сил:  $dF_r$ ,  $dF_{mp} = fdF_n$ , сил инерции  $dF^{un} = \rho v^2 d\alpha$ , где  $\rho$  - плотность,  $v$  - скорость ремня,  $d\alpha$  - угол, определяющий размер элемента. Необходимые условия равновесия элемента:

$$\sum F_{vr} = 0, \quad -(F + dF)d\alpha/2 - Fd\alpha/2 + dF^{un} + 2dF_n \sin(\varphi/2) + 2dF_{mp} \cos(\varphi/2) = 0, \quad (2)$$

$$\sum F_{vt} = 0, \quad F + 2dF_{mp} - (F + dF) = 0. \quad (3)$$

Из уравнений (2), (3), отбрасывая величины высшего порядка малости, получим:

$$(F_1 - F^{un})/(F_1 + F^{un}) = e^{f^* \alpha} = q, \quad (4)$$

где  $F^{un} = \rho v^2$ ,  $f^* = f/(\sin(\varphi/2) + \cos(\varphi/2))$ ,  $\varphi$  - угол между сторонами трапеции в сечении ремня.

Если пренебречь «силами» инерции, то формула (4) является формулой Эйлера. С учетом (1) и, полагая

$$F_1 = F_0 + 0.5F_\tau \text{ и } F_2 = F_0 - 0.5F_\tau, \text{ то } F_0 = 0.5(F_1 + F_2). \quad (5)$$

Учитывая (1), (5) и формулу Эйлера, получим выражение для начальной силы натяжения ветвей передачи:

$$F_0 = 0.5F_\tau (q + 1)/(q - 1) = (T/d)(q + 1)/(q - 1). \quad (6)$$

Таким образом, сила предварительного натяжения определяется внешней нагрузкой и геометрией передачи.

# ФОРМУЛА ЭЙЛЕРА И ЕЁ ПРИМЕНЕНИЕ ПРИ РАСЧЕТАХ НЕКОТОРЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

М.Г. Дратцев, М.Ю. Таршис

Научный руководитель – М.Ю. Таршис, д-р техн. наук, профессор  
Ярославский государственный технический университет

В основу силовых расчетов ряда технических устройств, положена формула Л. Эйлера. К ней приводит следующая задача. Необходимо определить силу натяжения троса **P**, достаточную для уравнивания силы **Q**, приложенной ко второму концу этого троса, охватывающему цилиндр и между ними присутствует трение.

Эта задача является статически определимой в том случае, когда рассматривается критическое состояние и силы трения пропорциональны соответствующим нормальным давлениям. Будем считать, что нормальные давления и сила трения распределены по всей длине охвата, равной  $r\varphi$ . Выделим элемент троса длины  $ds = r d\varphi$ . На него действуют реакции  $\vec{T}ds$  и  $\vec{N}ds$ , а также силы натяжения  $\vec{S}$  и  $\vec{S}_1$ :  $S_1 = S + dS$ , где  $T$  и  $N$  значения нормальных и касательных сил, приходящихся на единицу длины троса.

Необходимые условия равновесия элемента, учитывая малость угла  $d\varphi$ , то есть  $\sin(d\varphi/2) \approx d\varphi/2$ ,  $\cos(d\varphi/2) \approx 1$ :

$$\sum F_{vn} = 0, \quad Nds - S_1(d\varphi/2) - S(d\varphi/2) = 0, \quad (1)$$

$$\sum F_{vt} = 0, \quad Tds + S_1 - S = 0. \quad (2)$$

Подставляя в уравнения равновесия значения  $S_1$  и  $ds$ , получим из (1)  $S = Nr$  и, с учетом  $T = fN$ , из (2):

$$dS/S = -f d\varphi. \quad (3)$$

Интегрируя (3) в пределах от 0 до  $\varphi$ , получим:

$$\ln S_1/S_0 = -f\varphi, \quad (4)$$

где  $S_0$  - натяжение в сечении  $\varphi = 0$ , т.е. **Q**,  $S_1$  - натяжение в сечении  $\varphi_1$ , т.е. **P**.

Таким образом, получим формулу Эйлера в виде:

$$P = Qe^{-f\varphi_1}. \quad (5)$$

Формула Эйлера используется при расчетах таких устройств как ленточные транспортеры, конвейеры, некоторые виды тормозных устройств, лебедок, кабестанов.

**ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ МЕЛКОЙ ВОДЫ****В.В. Жарехина, А.Б. Капранова, А.И. Зайцев**

Научные руководители – А.Б. Капранова, д-р физ.-мат. наук, профессор;

А.И. Зайцев, д-р техн. наук, профессор

*Ярославский государственный технический университет*

Описание движения сплошной среды, в том числе, жидкой, заполняющей некоторый объем, как правило, сводится к заданию в произвольный момент времени поля скоростей (или плотности, давления, температуры и т.п.) для частиц механической системы в каждой точке выбранной области. При этом решение задач в теории сплошной среды существенно осложняется изменением границ указанного объема, которые проявляются только в процессе самого движения механической системы.

От выбора факторов, наиболее значимых для изучаемого процесса и учитываемых в формируемой модели, зависит адекватность предлагаемого математического описания реальным опытными данными. Например, модель движения несжимаемой невязкой жидкости предполагает справедливость уравнений Эйлера в виде уравнений несжимаемости (или неразрывности) и движения с дополнительными условиями: потенциальности силовых полей или присутствием их завихренности; наличия установившихся и неуставившихся течений; плоской, осесимметрической или пространственной задач; существования твердых подвижных (неподвижных) или свободных границ. В зависимости от перечисленных факторов система дифференциальных уравнений Эйлера в частных производных с заменой на соответствующее уравнение канонического вида может менять свой тип с эллиптического на гиперболический. Рассмотрим элементы теории мелкой воды, когда система нелинейных гиперболических уравнений описывает движение несжимаемой жидкости в поле силы тяжести без учета неоднородности для вертикальных составляющих скоростей течения элементов среды. Качественные представления о волнах на воде не совпадают с картиной распространения волн в воздухе. Только на мелководье волны могут изменять уровень жидкости во столько же раз, во сколько меняется плотность газовой среды при переходе через воздушные волны сверхзвуковой ракеты. Для линейного случая общее решение задачи имеет вид суммы двух волн различных форм в зависимости от начальных и граничных условий, движущихся с заданными скоростями. Практическое применение теории мелкой воды относится к прогнозу: течений на земной поверхности с учетом силовых эффектов небесных тел, цунами и штормов с генерацией вариаций уровня океанической воды в зависимости от изменения ветра, движения многослойных жидкостей с различными соленостями и т.д.

## **АНАЛИЗ ГРУППЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ. ВИДЫ МЕЛЮЩИХ ТЕЛ**

**Г.И. Зеленый, А.И. Зайцев, А.Е. Лебедев**

Научный руководители – А.И. Зайцев, д-р техн. наук, профессор;

А.Е. Лебедев, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

В настоящее время спектр технологий и оборудования для дробления и измельчения материалов достаточно широк. Использование различных технологий дробления и измельчения связано прежде всего с механизмом разрушения материалов. Основными способами разрушения является раздавливание, раскалывание, излом, срез, истирание и удар. Использование энергии электромагнитных полей является одним из способов повышения эффективности различных технологических процессов.

Среди множества конструкций аппаратов, предложенных для реализации электромагнитного способа измельчения, основное распространение получили аппараты с переменным магнитным полем – электромагнитные измельчители (ЭМИ). Существует несколько вариантов конструкций данных аппаратов, в частности: с горизонтальной рабочей камерой, с вертикальной рабочей камерой – основаны на применении переменного тока. Преимущества данных ЭМИ связаны с простотой конструкции, высокой производительностью (более 1 т/час), низкими энергозатратами (менее 20 квт.ч/т), а также с уменьшением влажности измельчаемых материалов за счет их нагрева в процессе измельчения до 60-80 °С. Наряду с ними применяются конструкции измельчителей постоянного тока или с постоянными магнитами (ЭМИПТ). Данные конструкции весьма эффективны для применения в пищевой и медицинской промышленности. Однако использование этих аппаратов для переработки строительных материалов в промышленных масштабах представляется нецелесообразным из-за низкой производительности. Наиболее эффективная область применения ЭМИ – измельчение влажных мелкодисперсных материалов с нерегламентированным распределением гранулометрического состава.

Для измельчения материалов в электромагнитных аппаратах могут применяться магнитные тела различной формы: шарики (измельчение какао-продуктов, композиционные материалы на основе серного цемента), призмы (сыпучие продукты шоколадного производства), иголки (очистка жидкости), стержни (приготовление пьезокерамических материалов).

Для изготовления мелющих тел электромагнитных измельчителей используют магнитотвердые материалы.

## **УСЛОВИЯ ПРОТЕКАНИЯ КОНВЕКТИВНОЙ ДИФФУЗИИ В СОПРОВОЖДЕНИИ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ**

**О.Н. Курзенева, А.Б. Капранова, А.Е. Лебедев**

Научные руководители – А.Б. Капранова, д-р физ.-мат. наук, профессор;

А.Е. Лебедев, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

При движении многофазных смесей особую значимость приобретают силы межфазного взаимодействия на границах раздела фаз. Массообменные процессы (тепломассообменные, сорбционные, экстракционные, электродиффузионные), широко применяемые в химической технологии, являются необратимыми и соответствуют переносу массы одного вещества в пределах одной или нескольких фаз смеси. К причинным факторам протекания массообмена можно отнести разность между рабочей и равновесной концентрациями фаз получаемой смеси компонентов. Условием прекращения массообмена считается достижение равновесного состояния между фазами. Конвективная диффузия предполагает два механизма массопереноса – диффузию при хаотическом движении молекул (например, при растворении одного компонента в жидкой среде другого) и конвективный перенос в подвижной среде (частицы растворяемого компонента увлекаются потоком растворителя). Цель настоящей работы – получение математического описания данного диффузионного процесса в виде дифференциального уравнения относительно концентрации диффундирующего вещества в зависимости от глубины слоя в случае поступления с заданной скоростью потока вещества в реактор с возможным протеканием химической реакции. Применяя первый закон Фика о диффузионном переносе массы, согласно которому количество диффундирующего вещества пропорционально градиенту его концентрации, площади поперечного потока и времени протекания процесса, выделим сечение реактора малой толщины, через которое происходит массоперенос с указанной скоростью.

Накопленное количество вещества в выделенном объеме за время диффузии (разность двух слагаемых, пропорциональных второй и первой производными от концентрации диффундирующего вещества по глубине слоя) равно количеству вещества, исчезнувшему в процессе химической реакции  $p$ -го порядка с известной константой скорости ее протекания. Приравнивание описанных масс диффундирующего и реагирующего вещества приводит к обыкновенному дифференциальному уравнению 2-го порядка с постоянными коэффициентами. В случае 1-го порядка химической реакции его общее решение для концентрации соответствует сумме произведений экспоненциальных зависимостей от глубины слоя.

## **О ДВИЖЕНИИ ЧАСТИЦ НА СИТЕ ГРОХОТА ПРИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЯХ ПОВЕРХНОСТИ**

**Д.Е. Муканин, А.И. Зайцев, А.Е. Лебедев**

Научный руководители – А.И. Зайцев, д-р техн. наук, профессор;

А.Е. Лебедев, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

В задаче считается, что поверхность грохота совершает одномерные вертикальные колебания по закону:

$$x = A_s \sin(\omega t + \phi), \quad (1)$$

где  $A_s, \omega, \phi$  - амплитуда, круговая частота и начальная фаза этих колебаний.

Дифференциальное уравнение движения частицы в системе координат, связанной с вибрирующей поверхностью  $x_1, y_1$ , имеет вид:

$$\frac{d v_x}{dt} = -g + A_s \omega^2 \sin(\omega t + \phi), v_{xI} = \dot{x}_1 \quad (2)$$

Здесь  $g$  - ускорение силы тяжести, второе слагаемое в правой части соответствует силе инерции переносного движения.

В работе Огурцова В.А. показано, что для частиц с размером более 0.5 мм сила сопротивления воздуха много меньше других, входящих в вышеописанное уравнение. Движение частицы в соответствии с записанным уравнением начинается при:

$$A_s \omega^2 \sin(\omega t + \phi) > g \quad (3)$$

В остальные периоды времени в относительном движении она лежит на поверхности ( $x_0 = 0$ ), а в абсолютном - имеют место колебания (1).

При достижении частицей поверхности грохота ее скорость изменяется в соответствии с соотношениями неупругого удара.

Численные эксперименты в соответствии с описанными выше уравнениями позволяют определить все характеристики движения частиц над вибрирующей поверхностью. Наиболее интересными являются амплитуда достаточно сложного движения частицы над поверхностью, которая определяет степень разрыхления псевдооживленного слоя и порозность частиц в нем; частота контактов частиц с поверхностью, от которой зависит средняя скорость их прохождения через отверстия. При наличии слоя частица поверхности удар чаще всего носит неупругий характер. Независимо от начальной фазы достаточно быстро формируется установившийся цикл движения частицы, из которого можно найти амплитуду ее подпрыгивания над поверхностью и период контактов с ней.

## **АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ВИХРЕВЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ**

**М.О. Новиков, А.Е. Лебедев, А.И. Зайцев**

Научные руководители – А.Е. Лебедев, канд. техн. наук, доцент;

А.И. Зайцев, д-р техн. наук, профессор

*Ярославский государственный технический университет*

Среди множества конструкций аппаратов, предложенных для реализации электромагнитного способа измельчения, основное распространение получили аппараты с переменным магнитным полем, а именно вихревые электромагнитные аппараты.

При использовании данного оборудования измельчение материалов происходит в магнитоожигенном (вихревом) слое ферромагнитных частиц с помощью бегущего магнитного поля. Принцип действия аппаратов с вихревым слоем основан на преобразовании энергии магнитного поля в механическую энергию движения ферромагнитных тел в рабочей камере. Такая обработка различных материалов обеспечивает возможность гомогенизации и измельчения твердых частиц различного размера, а также активацию частиц измельчаемого материала.

Управление движением ферротел происходит при помощи магнитного поля, создаваемого обмоткой управления электромагнитного аппарата. Продукт, подлежащий обработке, и, размещенный в рабочей камере в смеси с размольными элементами, испытывает различные деформации: удар, сжатие, истирание, изгиб, что интенсифицирует процесс его обработки.

В электромагнитных аппаратах имеется возможность осуществлять регулирование величины силовых нагрузок на частицы обрабатываемого материала, что позволяет подчинить работу устройства технологическим требованиям обработки продукта.

По конструктивным особенностям вихревые аппараты можно разделить на аппараты с вертикальной и горизонтальной рабочей камерой, которая может иметь круглое или прямоугольное сечение. В центре аппарата могут располагаться трубки, желоба и т.п. элементы, которые способствуют интенсификации процесса обработки материалов.

Недостатком вихревых аппаратов является возможность потери их работоспособности при определенном, критическом заполнении рабочей камеры ферромагнитными частицами. Критический объем заполнения рабочей камеры зависит от ее размеров, количества и размеров размольных элементов, напряженности магнитного поля и других факторов. Так же вихревые электромагнитные аппараты обладают относительно низкой производительностью (до 500 кг/ч), что является ограничивающим фактором для широкого промышленного применения.



## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

**А.А. Петров, А.И. Зайцев, А.Е. Лебедев**

Научные руководители – А.И. Зайцев, д-р техн. наук, профессор;

А.Е. Лебедев, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

В рамках работы по исследованию процесса смешивания сыпучих материалов в центробежном аппарате на принципе взаимодействия разрезанного потока одного из компонентов с тонким движущимся слоем второго были получены зависимости коэффициента неоднородности получаемой смеси от режима работы установки (частота вращения вала). Установка представляет собой полый усеченный конус на валу с приводом от электродвигателя. На одном валу с конусом, во внутренней его части, размещен распыливающий диск. Подача компонентов смеси в конус и на распыливающий диск осуществлялась с помощью дозаторов. Коэффициент неоднородности смесей определялся с помощью экспресс-метода, основанного на анализе изображений проб. Данный алгоритм реализован в программном обеспечении *mixap*. На рисунке 1, на примере смешения речного песка и манной крупы, представлены зависимости коэффициента неоднородности от частоты вращения вала установки при различных вариантах расположения диска относительно верхнего основания конуса (параметр  $\Delta S$ ).

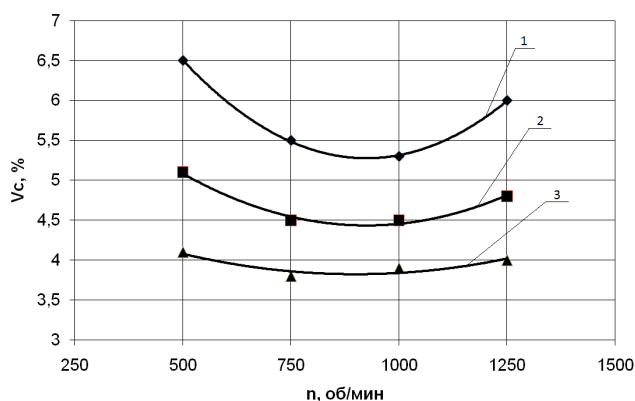


Рисунок 1 – Зависимости коэффициента неоднородности  
от режима работы установки:

1) при  $\Delta S = 30$  мм; 2) при  $\Delta S = 10$  мм; 3) при  $\Delta S = 20$  мм

Помимо представленных результатов были также получены аналогичные зависимости для вариантов установки с отдельным приводом конуса и диска, с противоположными направлениями вращения конуса и диска. Процесс смешивания исследовался при использовании различных материалов в качестве компонентов для приготовления смеси.

## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ЦЕНТРА МАСС ДЛЯ АКТИВИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА РЕАКЦИИ

Д.А. Румянцева, Л.А. Кучина, А.Б. Капранова

Научный руководитель – А.Б. Капранова, д-р физ.-мат. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

В химических приложениях одной из основных характеристик протекания реакции, в том числе, биохимической, является константа её скорости. Оценка данного параметра связана с расчетом различного рода комплексов реагирующих частиц, для выполнения которого требуется определить координаты центра масс указанных комплексов. Согласно теории переходного состояния в процессе химической реакции при переходе из начальной в конечную конфигурацию атомов меняются не только расстояния между ними, но и соответствующие углы расположения атомов.

Как известно из курса теоретической механики, центр масс механической системы из  $n$  точек – это геометрическая точка, положение которой задается радиус-вектором, определяемым отношением суммы по индексу произведений массы  $\nu$ -й составляющей точки на ее  $\nu$ -й радиус-вектор к массе всей механической системы при  $\nu=1, \dots, n$ .

В настоящей работе рассмотрен пример оценки положения центра масс для активированного комплекса реакции образования свободного радикала  $C_2^*H_4Cl$  из  $Cl^*$  и молекулы этилена  $C_2H_4$ . При этом модель указанного активированного комплекса предполагает расчет длин связей C-C и C-H и углов связей C-H при каждом из двух атомов углерода C, как средних значений соответствующих длин (в ангстремах,  $1 \text{ \AA}^0 = 10^{-8} \text{ см}$ ) и углов (в градусах) в молекуле этилена  $C_2H_4$  и свободном радикале  $C_2^*H_4Cl$ .

Пусть точка  $O$  - центр декартовой системы координат  $Oxy$  лежит на середине связи C-C, тогда ось  $Ox$  будет иметь положительное направление в сторону одного атома углерода  $C_1$  (с номером «1»), а отрицательное – в сторону другого атома  $C_2$  (с номером «2»). Пронумеруем атомы водорода:  $H_1, H_2$  при атоме  $C_1$  и  $H_3, H_4$  при атоме  $C_2$ .

Поиск координат атома  $H_1$ , а значит с учетом симметрии и атома  $H_2$ , осуществляется из системы трех алгебраических уравнений – выражений для длины вектора  $C_1H_1$  и скалярных произведений векторов  $C_1H_1, C_1H_2$  и векторов  $C_1O$  и  $C_1H_1$ . Расчет координат атомов  $H_3$  и  $H_4$  с учетом их нулевой  $z$ -координаты – из системы уравнений в виде выражений для длины вектора  $C_2H_4$  и скалярного произведения векторов  $C_2H_4$  и  $C_2O$ . При известных атомных весах всех атомов активированного комплекса получены следующие значения координат его центра масс:  $x_c = 0,59 \text{ \AA}^0$ ;  $y_c = 0,59 \text{ \AA}^0$ ;  $z_c = -1,04 \text{ \AA}^0$ .

## **УСТОЙЧИВОСТЬ СИСТЕМЫ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ ДЛЯ ПОИСКА ПОЛОЖЕНИЯ ДВИЖУЩЕГОСЯ ОБЪЕКТА**

**В.С. Товт, А.Б. Капранова, А.И. Зайцев**

Научные руководители – А.Б. Капранова, д-р физ.-мат. наук, профессор;  
А.И. Зайцев, д-р техн. наук, профессор

*Ярославский государственный технический университет*

Выяснение условий устойчивого движения механических объектов связано с решением множества технических задач. Анализ соответствующих уравнений движения механических систем обычно проводится при их представлении в форме уравнений возмущенного движения. В свою очередь, последние имеют вид уравнений Лагранжа II рода в обобщенных координатах или в записи через частные производные от кинетической энергии изучаемого объекта, как определенно-положительной квадратичной формы, или – с разложением всех слагаемых дифференциальных уравнений, включая все силы, по степеням обобщенных координат и обобщенных скоростей. При этом характеристические числа уравнений возмущенного движения для механической системы с потенциальными силами, т.е. в отсутствии диссипативных, гироскопических и неконсервативных сил, являются знакопеременной величиной для квадратного корня из коэффициента устойчивости системы с отрицательным знаком. Причем число отрицательных коэффициентов устойчивости определяет степень неустойчивости состояния объекта.

Однако на реальные механические системы действуют и непотенциальные силы. Формулировка четырех теорем Томсона-Тета-Четаева позволяет провести анализ состояния устойчивости исследуемого объекта, например, на предмет стабилизации неустойчивой потенциальной системы с помощью добавления действия гироскопических или диссипативных сил. В частности, в качестве примера для поиска координат движущегося объекта рассматривается работа платформы с тремя гироскопами и тремя акселерометрами (соответственно для измерения трех составляющих угловой скорости вращения объекта и проекций его линейного ускорения в инерциальной системе отсчета, как разности между истинным ускорением объекта и гравитационным ускорением). Считается, что центр системы отсчета (с ориентацией осей  $x$  – на восток,  $y$  – на север,  $z$  – вертикально вверх) в невозмущенном состоянии перемещается с постоянной скоростью по параллели сферической поверхности Земли. Выявлены три области изменения параметров гироскопических сил – одной неустойчивой координаты из трех, двух неустойчивых координат и трех неустойчивых координат.

## РАСЧЕТ КРИВОГО БРУСА

А.А. Васильев, М.М. Рябечков, Н.В. Бадаева

Научный руководитель – Н.В. Бадаева, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

В строительной практике встречаются стержни (брусья) с криволинейной осью. Они используются во многих конструкциях окружающих нас, например: обод колеса, несущий брус арочного моста, крюк подъемного крана и т.д. Ось всех этих брусьев – плоская кривая, а нагрузка, чаще всего, лежит в плоскости, совпадающей с осью бруса и осью симметрии поперечного сечения, тогда в произвольном сечении бруса возникают три внутренние силы: нормальная сила, изгибающий момент и поперечная сила. При расчете нормального напряжения в точке необходимо учитывать напряжения от воздействия, как нормальной силы, так и изгибающего момента.

Напряжение от продольной силы рассчитывается по формуле

$$\sigma = \frac{N}{F},$$

где  $N$  - продольная сила,

$F$  - площадь поперечного сечения.

Для определения напряжений при чистом изгибе плоского кривого бруса, так же как для прямого бруса, считаем справедливой гипотезу плоских сечений. Напряжение при чистом изгибе рассчитывается по формуле

$$\sigma = \frac{M y}{S_x \rho},$$

где  $M$  - изгибающий момент относительно оси, проходящей через центр тяжести сечения,

$S_x$  - статический момент поперечного сечения относительно нейтральной оси, нейтральная ось не проходит через центр тяжести сечения,

$\rho$  - расстояние от центра кривизны до точки, в которой определяем напряжение,

$y$  - расстояние от оси, проходящей через центр тяжести сечения до точки, в которой определяем напряжение.

Напряжение от продольной силы и изгибающего момента:

$$\sigma = \frac{N}{F} \pm \frac{M y}{S_x \rho}.$$

Погрешность расчета кривых брусьев по формулам для расчета прямого бруса может быть настолько значительной, что не только количественные величины напряжений, но и качественная картина напряженного состояния резко изменяется.

## НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ

Д.С. Долгин, А.С. Нефедов

Научный руководитель – А.С. Нефедов, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

При обычных расчетах на прочность не учитывается тот факт, что механические характеристики, размеры деталей и нагрузки являются случайными величинами. Для деталей, к которым предъявляются жесткие требования минимизации веса при обеспечении надежности ее работы, необходимо использовать вероятностное проектирование. В этом случае критерием надежности является вероятность безотказной работы детали.

Вероятность безотказной работы можно оценить через показатель работоспособности  $u$ :

$$u = \sigma_B - \sigma,$$

где  $\sigma_B$  - предел прочности материала детали;  $\sigma$  - максимальное напряжение в опасном сечении, определяемое по известным формулам сопротивления материалов.

Надежность детали обеспечивается при  $u > 0$ . Значения  $u < 0$  соответствуют разрушению детали. Очевидно, что вероятность безотказной работы  $P_{БР}$  и вероятность разрушения  $P_{РАЗ}$  связаны между собой соотношением  $P_{БР} = 1 - P_{РАЗ}$ . Границей зон безотказной работы и разрушения является значение  $u = 0$ .

Если  $\sigma_B$  и  $\sigma$  подчиняются нормальному закону распределения с средними значениями  $\bar{\sigma}_B$  и  $\bar{\sigma}$ , с средними квадратическими отклонениями  $S_{\sigma_B}$  и  $S_{\sigma}$ , то и показатель работоспособности имеет нормальное распределение с числовыми характеристиками

$$\bar{u} = \bar{\sigma}_B - \bar{\sigma}, \quad S_u = \sqrt{S_{\sigma_B}^2 + S_{\sigma}^2}.$$

Для перехода к нормированному нормальному распределению используем подстановку  $z = \frac{u - \bar{u}}{S_u}$ . При  $u = 0$  получаем значение случайной нормированной величины  $z_0$ , позволяющее по таблицам значений функции Лапласа определить вероятность безотказной работы и вероятность разрушения:

$$z_0 = \frac{0 - \bar{u}}{S_u} = \frac{\bar{\sigma}_B - \bar{\sigma}}{\sqrt{S_{\sigma_B}^2 + S_{\sigma}^2}},$$

$$P_{БР} = P(u > 0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{z_0}^{\infty} e^{-\frac{z^2}{2}} dz, \quad P_{РАЗ} = P(u < 0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{z_0} e^{-\frac{z^2}{2}} dz.$$

## **РАСЧЁТ БОРТА ФОРМЫ ДЛЯ ЗАЛИВКИ СМЕСИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ БЛОКОВ**

**Ю.С. Канаев, Д.П. Пучек, А.С. Нефедов**

Научный руководитель – А.С. Нефедов, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

В Ярославле на ООО «ЭКО» организовано производство строительных блоков, заменяющих силикатный кирпич. Специальная смесь заливается в форму с откидывающимися бортами. В этой форме при повышенной температуре смесь созревает, увеличиваясь в объёме примерно в 2 раза, и превращается в монолитный блок, не достигая окончательной прочности. Форма раскрывается и опрокидывается, блок выгружается на тележку, подаётся на устройство для резки на миниблоки заданных размеров. Пакет этих блоков помещается в термокамеру для получения окончательной прочности. Затем происходит упаковка блоков.

При опрокидывании и выгрузке моноблок часто стал растрескиваться под действием собственного веса из-за выпуклой его боковой поверхности. Последняя обусловлена деформацией продольного борта формы при заливке смеси. Возникла задача по увеличению жесткости борта.

Борт представляет собой сварную конструкцию и состоит из трех прямоугольных труб, приваренных к несущему листу.

Выполнен расчёт борта в Excel. В его основу заложен тот общеизвестный факт, что изгибная жесткость любого элемента определяется моментом инерции его поперечного сечения. При одинаковых условиях закрепления и нагружения элемента конструкции его перемещения (прогибы) обратно пропорциональны величине момента инерции. Поэтому в качестве упрощенной расчетной схемы взята балка, шарнирно опертая по концам и нагруженная по всей длине равномерно распределенной нагрузкой.

Вычислен прогиб посередине борта в существующей конструкции, в новой конструкции при замене трубы на двутавровый профиль и старой конструкции, усиленной дополнительным листом.

Расчеты показывают, что замена трубы на двутавровый профиль повышает жесткость борта только на 40%. При этом требуется существенная переделка борта, соизмеримая с изготовлением нового изделия.

При усилении существующего борта дополнительным сплошным листом толщиной 10 мм с необходимыми технологическими вырезами повышает его жесткость в 4,2 раза.

## **ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННЫХ СРЕД НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ И ПОВЕДЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ**

**В.А. Киселева, Н.В. Бадаева**

Научный руководитель – Н.В. Бадаева, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Многие конструктивные элементы из металлов, бетона, железобетона, различных сплавов, композитов в процессе эксплуатации могут подвергаться воздействию радиационных сред. Радиационные среды, как показывают результаты экспериментов, могут приводить к изменению механических свойств материалов и в результате, к изменению поведения конструкций из них. То есть, в конечном счете, под влиянием радиационных сред происходит изменение напряженно-деформированного состояния нагруженных элементов конструкций, приводящее к сокращению их срока службы.

Конструкции, находящиеся в зоне действия последствий аварии на Чернобыльской АЭС, несущие конструкции ядерных реакторов, конструкции могильников и хранилищ, служащих для складирования отработанного топлива и захоронения других радиоактивных отходов, работают в условиях воздействия радиационных полей, и потому к ним должно предъявляться требование сохранения достаточной прочности и долговечности материалов и конструкций из них в течение определенного периода эксплуатации.

Для прогнозирования поведения конструкций с целью обеспечения их требуемой долговечности в условиях воздействия радиационных сред необходимо иметь модели деформирования и разрушения конструкций с учетом деструктирующего воздействия радиационных факторов.

Влияние облучения на материалы зависит от его дозы или интегрального потока нейтронов. Однако уровень дозы облучения распределяется неравномерно по сечению (толщине) конструкции и может изменяться с течением времени. Такое радиационное влияние приведет к появлению наведенной и изменяющейся с течением неоднородности механических свойств.

В зависимости от вида материалов радиационные среды приводят к различному изменению кратковременных и длительных механических характеристик материалов, а также к радиационному набуханию.

Облучение приводит к ускорению процессов ползучести и накопления повреждений в металлах и сплавах и, как следствие, к сокращению долговечности облученных конструкций.

## **ОЦЕНКА МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРЫ**

**С.А. Лосина, Н.В. Бадаева**

Научный руководитель – Н.В. Бадаева, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

В последние годы на строительном рынке появилось большое количество современных материалов, которые по техническим и экономическим показателям превосходят традиционные материалы. Одним из инновационных направлений в строительстве является использование стеклопластиковой арматуры, вместо традиционной металлической.

Композитная арматура из стеклопластика успешно применяется во многих областях строительства. Причиной тому служит ее абсолютная коррозионная стойкость, долговечность в среде бетона, морозостойкость и наилучшее соотношение веса и усилия на разрыв, позволяющая создавать более легкие и прочные конструкции. Высокая прочность на растяжение (в 2,5 раза больше, чем у металла) позволяет сэкономить за счет равнопрочной замены металлической арматуры стеклопластиковой арматурой меньшего диаметра. Стеклопластиковая арматура является диэлектриком. Материал имеет теплопроводность почти в 100 раз меньшую, чем металл, а значит, не является мостиком холода в бетонных конструкциях.

Благодаря химической стойкости материала его активно применяют для строительства резервуаров под агрессивные химические вещества. Данное свойство также способствует снижению затрат на обслуживание и ремонт конструкций, созданных с применением композитной арматуры. Высокая прочность и устойчивость к механическим и физическим воздействиям обуславливает применение этого материала в дорожном строительстве и возведении мостов. Водостойкость позволяет применять неметаллическую арматуру при строительстве доков, причалов, укреплений из бетона на набережных. Ну и, конечно же, чаще всего данный материал применяют при изготовлении фундаментных плит и ленточного фундамента.

В то же время стеклопластиковой арматуре присущи и недостатки: она плохо гнется, поэтому ей придают нужную форму ещё на этапе производства, согласно чертежам заказчика; имеет пониженную прочность на поперечную нагрузку; и к ней не получится применять электрическую сварку. Отмеченные свойства не позволяют использовать этот перспективный материал повсеместно.



## РАСЧЕТ ВЕРОЯТНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ПРИ ПЕРЕМЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЯХ

**М.А. Микрюков, А.С. Нефедов**

Научный руководитель – А.С. Нефедов, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Расчет вероятности разрушения по напряжениям наиболее просто получается при использовании нормального закона распределения пределов выносливости детали  $\sigma_{-1д}$ , амплитуд  $\sigma_a$  и средних  $\sigma_m$  напряжений рабочего цикла нагружения детали. Условие разрушения при симметричном цикле будет иметь вид

$$u = \sigma_{-1д} - \sigma_a < 0.$$

Если  $\sigma_{-1д}$  и  $\sigma_a$  распределены по нормальному закону, то и величина  $u$  распределена по нормальному закону с параметрами  $\bar{u}$ ,  $\bar{s}$ :

$$\begin{aligned}\bar{u} &= \bar{\sigma}_{-1д} - \bar{\sigma}_a, \\ s_u^2 &= s_{\sigma_{-1д}}^2 + s_{\sigma_a}^2;\end{aligned}$$

где  $\bar{u}$  - среднее значение  $u$ ;

$s_u$  - среднее квадратическое отклонение  $u$ ;

$\bar{\sigma}_{-1д}$  - среднее значение предела выносливости;

$\bar{\sigma}_a$  - среднее значение амплитудного напряжения;

$s_{\sigma_{-1д}}$ ,  $s_{\sigma_a}$  - средние квадратические отклонения  $\sigma_{-1д}$ ,  $\sigma_a$ .

Значение  $u$ , соответствующее некоторой вероятности  $P$ , называемое квантилью, связано с нормированной случайной величиной  $z$  следующей формулой:

$$u_P = \bar{u} + z_P \cdot s_u,$$

где  $z_P$  - квантиль нормированной величины.

Если  $u_P = 0$ , то вероятность  $P$  будет равна вероятности разрушения детали. Полагая  $u_P = 0$ , находят квантиль  $z_P$ , соответствующую вероятности разрушения.

$$z_P = -\frac{\bar{u}}{s_u} = -\frac{\bar{\sigma}_{-1д} - \bar{\sigma}_a}{\sqrt{s_{\sigma_{-1д}}^2 + s_{\sigma_a}^2}} = -\frac{\bar{\sigma}_{-1д} - \bar{\sigma}_a}{\sqrt{v_{\sigma_{-1д}}^2 \cdot \bar{\sigma}_{-1д}^2 + v_{\sigma_a}^2 \cdot \bar{\sigma}_a^2}},$$

где  $v_{\sigma_{-1д}}$  и  $v_{\sigma_a}$  - коэффициенты вариации предела выносливости детали и амплитуды напряжений:

$$v_{\sigma_{-1д}} = \frac{s_{\sigma_{-1д}}}{\bar{\sigma}_{-1д}}; \quad v_{\sigma_a} = \frac{s_{\sigma_a}}{\bar{\sigma}_a}.$$

## РАСЧЁТ ВОДООТВОДНОГО ЛОТКА

К.В. Минеев, А.С. Нефедов

Научный руководитель – А.С. Нефедов, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Водоотводной лоток представляет собой U-образную конструкцию, усиленную ребрами. При расчёте фрагмент лотка можно рассматривать как брус таврового сечения, работающий на изгиб за счёт сжатия лотка грунтом. Лоток изготавливается из композитных материалов причем, как показала практика, материал самого лотка и ребер имеет разные пределы прочности и модули упругости.

Из теории чистого изгиба известно, что нормальные напряжения  $\sigma$  по сечению бруса распределяются линейно, пропорционально расстоянию от нейтрального слоя  $y$  и обратно пропорционально радиусу его кривизны  $\rho$ :

$$\sigma = \frac{E}{\rho} y, \quad \frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI};$$

где  $E$  – модуль упругости материала,  $M$  – изгибающий момент,  $I$  – момент инерции поперечного сечения бруса.

Показано, что для бруса из разных материалов напряжения в лотке  $\sigma_l$  и ребре  $\sigma_p$  можно вычислить

$$\sigma_l = \frac{M \cdot y}{I_l + \frac{E_p}{E_l} I_p}, \quad \sigma_p = \frac{M \cdot y}{\frac{E_l}{E_p} I_l + I_p}.$$

Здесь моменты инерции лотка  $I_l$  и ребра  $I_p$  вычисляются относительно нейтральной оси, несовпадающей с центом тяжести всего сечения. Положение нейтральной оси обычно находится из равенства нулю продольной силы в сечении бруса, что в данном случае является громоздкой задачей. Предложена приближенная формула на базе известной формулы для определения центра тяжести сечения, в которую введены весовые коэффициенты пропорционально модулям упругости:

$$y_n = \frac{y_{cl} A_l E_l + y_{cp} A_p E_p}{A_l E_l + A_p E_p},$$

где  $A_l$  и  $A_p$  – площади фрагмента лотка и ребра,  $y_{cl}$  и  $y_{cp}$  – координаты центров тяжести этих же частей в произвольной системе отсчёта.

По приведённым формулам произведена оценка прочности пяти типовых размеров водоотводных лотков. Рассчитаны также перемещения бортов лотка при нормативной нагрузке. Изгибная жесткость фрагмента определялась как сумма жесткостей лотка и ребра:

$$EI = E_l I_l + E_p I_p.$$

## ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ

**В.И. Пахомов, А.С. Нефедов**

Научный руководитель – А.С. Нефедов, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Наиболее объективной характеристикой надежности является вероятность разрушения. Под вероятностью разрушения понимается вероятность невыполнения условия прочности, т.е. вероятность того, что нагрузка превышает несущую способность конструкции.

Для определения вероятности разрушения условие прочности запишем в виде:

$$U = R - S > 0, \quad (1)$$

где  $U$  – показатель работоспособности (неразрушения);  $R$  – обобщенная прочность (несущая способность);  $S$  – обобщенная нагрузка.

В условии (1) все величины рассматриваются как случайные.

Когда известен закон распределения показателя работоспособности, задача об определении вероятности разрушения решается следующим образом:

$$P_{\text{разр.}} = P(u < 0) = \int_{-\infty}^0 f(u) du. \quad (2)$$

В случае, когда показатель работоспособности имеет нормальное распределение, вероятность разрушения определяется следующим образом:

$$P_{\text{разр.}} = P(u < 0) = \frac{1}{\sigma_u \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^0 \exp\left(-\frac{(u - \bar{u})^2}{2\sigma_u^2}\right) du = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{z_0} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) dz = \Phi(z_0), \quad (3)$$

где  $\bar{u}$  и  $\sigma_u$  – математическое ожидание и среднее квадратичное отклонение показателя работоспособности;  $z = \frac{u - \bar{u}}{\sigma_u}$  – нормированная случайная величина;  $z_0 = \frac{0 - \bar{u}}{\sigma_u}$  – значение нормированной случайной величины, соответствующее  $u = 0$ .

В случае если обобщенная прочность и обобщенная нагрузка распределены по нормальному закону, то нормальное распределение будет иметь и показатель работоспособности, числовые характеристики которого будут равны:  $\bar{u} = \bar{R} - \bar{S}$  – математическое ожидание,  $\sigma_u = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}$  – среднее квадратичное отклонение. Тогда

$$z_0 = \frac{0 - \bar{u}}{\sigma_u} = -\frac{\bar{R} - \bar{S}}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}}. \quad (4)$$

При подстановке  $z_0$  в (3) определяется вероятность разрушения.

## **ОПТИМИЗАЦИЯ СЕЧЕНИЙ НА ПРИМЕРАХ БРУСЬЕВ РАВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ**

**А.В. Седов, А.С. Нефедов**

Научный руководитель – А.С. Нефедов, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Проектный расчет на прочность отдельного элемента конструкции предусматривает определение таких его поперечных размеров (площади, момента сопротивления), при которых обеспечивается надежность и долговечность, а также экономичность с точки зрения расхода материала.

Для подавляющего большинства реальных конструкций внутренние силовые факторы изменяются вдоль элементов. Подбор размеров сечения только по наиболее нагруженному участку приведет к перерасходу материала из-за неполного использования его прочностных возможностей на других участках. Поэтому желательно так подбирать размеры элемента, чтобы во всех его сечениях экстремальные напряжения были постоянными. Такой элемент называется брусом равного сопротивления. Если при этом наибольшие по величине напряжения окажутся равными допускаемым напряжениям, то масса такого бруса будет наименьшей.

В работе рассмотрены три классические задачи расчёта брусьев равного сопротивления.

Первая задача сводится к установлению закона изменения сечения по высоте бруса, находящегося под действием собственного веса и внешней нагрузки. В результате получается степенная зависимость. Очевидно, что изготовление бруса криволинейной формы сопряжено с технологическими трудностями, вызывающими значительные затраты. Поэтому на практике брусу придают более простую форму, например, в виде усечённой пирамиды или ступенчатого бруса. Нетрудно показать, что при безграничном увеличении числа ступеней брус приближается к оптимальному.

Вторая и третья задачи состоят в определении формы консольной балки, нагруженной на конце сосредоточенной силой. В одном случае принимается постоянной ширина балки, а определяется закон изменения её высоты по длине. Форма балки получается достаточно сложной. На практике не используется или заменяется ступенчатой.

В другом случае постоянной принимается уже высота балки, а определяется закон изменения ширины вдоль балки. При этом форма балки получается наиболее простой. Поэтому балки равного сопротивления с таким простым очертанием получили широкое распространение.

## **СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**А.О. Струтынский, Н.В. Бадаева**

Научный руководитель – Н.В. Бадаева, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Качество бетонных и железобетонных изделий и конструкций в значительной степени зависит от эффективности и действенности контроля прочности и однородности бетона, защитного слоя бетона и расположения арматуры, напряжений в арматуре предварительно напряженных железобетонных конструкций.

Рассмотрим современные методы определения прочности. Некоторые недостатки стандартных методов испытания прочности бетона обусловили развитие неразрушающих методов контроля и методов, связанных с испытаниями бетона в нестандартных образцах, извлекаемых из конструкции.

Определение прочности бетона может производиться стандартными методами путем изготовления и испытания образцов, однако достоверность контроля его прочности и однородности по стандартным образцам является недостаточной в силу ряда причин: объем испытания стандартных образцов не превышает 0,01 % уложенного в конструкцию бетона. Условия виброформования и режимы твердения образцов и конструкций различны, стандартными методами невозможно определить однородность бетона в изделии и прочность отдельных его участков.

Неразрушающий контроль отпускной и передаточной прочности бетона позволяет оперативно влиять на технологический процесс производства железобетонных изделий, своевременно корректировать состав, режимы виброуплотнения и термообработки бетона. Для неразрушающего контроля прочности бетона используются приборы, основанные на методах местных разрушений (отрыв со скалыванием, скалывание ребра, отрыв стальных дисков), ударного воздействия на бетон (ударный импульс, упругий отскок, пластическая деформация) и ультразвукового прозвучивания.

Кроме перечисленных методов и аппаратных средств контроля существует и ряд других менее распространенных, таких как инфракрасный, электрического потенциала, вибрационно-акустический, акустико-эмиссионный применение которых находится в стадии опытной эксплуатации либо очень сложно.

Такое разнообразие способов несомненно вызывает большой интерес, подкрепляемый тем, что контроль качества железобетонных конструкций важен также с точки зрения безопасности производства и эксплуатации.

## **ПРОЧНОСТЬ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКИ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ НАПРЯЖЕНИЯХ**

**И.Л. Юлышев, С.А. Петерсон**

Научный руководитель – С.А. Петерсон, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Совокупность последовательных значений напряжений за один период называют циклом напряжений. Замечено, что сопротивление усталости зависит от значений наибольшего и наименьшего напряжений цикла, их отношения и практически не зависит от закона изменения (синусоидальный, треугольный, трапецеидальный и др.) напряжений внутри цикла.

Цель работы: Изучить изменение прочности при циклически изменяющихся напряжениях

Задачи:

- 1) Понятие об усталости прочности
- 2) Основные характеристики цикла и предел усталости

Основная часть:

- 1) Многие детали машин в процессе работы испытывают напряжения, циклически меняющиеся во времени.
- 2) Закон изменения главного напряжения во времени.

Заключение:

1) В настоящее время, однако, физические основы теории твердого тела не находятся еще на такой стадии развития, чтобы на их базе можно было бы создать методы расчета на усталостную прочность, удовлетворяющие запросам практики. Поэтому приходится идти по пути накопления экспериментальных фактов, из совокупности которых можно было бы выбрать подходящие правила как руководство для расчета. Объединение и систематика экспериментальных данных и представляет собой в настоящее время содержание теории усталостной прочности.

2) Предел усталости, полученный в условиях циклического растяжения и сжатия, оказывается на 10–20% ниже, чем предел усталости, полученный при изгибе. Предел усталости при кручении сплошных образцов отличается от предела усталости, полученного для полых образцов, и т.п.

**ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ  
СРЕДНЕХОДНЫХ МЕЛЬНИЦ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ  
ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ**

**Е.А. Варган, В.С. Францкевич**

Научный руководитель – В.С. Францкевич, канд. техн. наук, доцент  
*Белорусский государственный технологический университет  
(Республика Беларусь)*

Актуальной проблемой для нашей республики является снижение энергоемкости выпускаемой продукции. Важнейшее направление решения этой проблемы – использование энергоэффективного технологического оборудования. Вопросы энергосбережения очень актуальны и для промышленности стройматериалов, где используются такие энергоемкие процессы как сушка, обжиг, помол материалов. В качестве основного помольного агрегата в нашей промышленности используются барабанные мельницы. Это очень металло- и энергоемкие устройства. Вместе с тем анализ зарубежных источников информации показывает, что в США, Европе, Японии успешно используются другие более эффективные помольные агрегаты: ударные, среднеходные и т.д. Сравнительный анализ показал, что при одинаковых эксплуатационных затратах среднеходные мельницы имеют ряд преимуществ: отсутствие динамических нагрузок; значительно меньший износ рабочих элементов; низкие энергозатраты. Измельчение материала в среднеходных мельницах носит направленный характер и осуществляется в слое, что является более эффективным с точки зрения воздействия на материал. Высокая эффективность измельчения материала валками в плотном слое под высоким давлением приводит не только к увеличению производительности помольной установки, но и к значительному снижению удельных энергозатрат на помол.

На кафедре машин и аппаратов химических и силикатных производств для проведения всесторонних исследований среднеходных мельниц был сконструирован и изготовлен экспериментальный стенд, включающий валковую мельницу с питателем, систему аспирации и сменные воздушные классификаторы (динамический и статический). При проведении экспериментальных исследований изменялись форма размольного стола (плоская, с отбортовкой, с канавкой), форма валков (конические и тороидальные), способ ввода газовой фазы (тангенциальный, радиальный), тип классификатора и др. При варьировании указанных выше параметров замерялись силовые характеристики привода мельницы, гидравлическое сопротивление и гранулометрический состав полученного продукта.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИСМЕМБРАТОРНОЙ МЕЛЬНИЦЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ ФОСФОРИТОВ**

**В.В. Вербицкий, И.Л. Тоболич, А.А. Гарабажиу**

Научный руководитель – А.А. Гарабажиу, канд. техн. наук, доцент  
*Белорусский государственный технологический университет  
(Республика Беларусь)*

В настоящее время внесение в почву фосфорсодержащих минеральных удобрений сельхозпроизводителями Республики Беларусь не превышает (по данным Минсельхозпрода РБ) 45-50% от потребности. При этом собственных производственных мощностей ОАО «Гомельский химический завод» недостаточно, и часть фосфорных удобрений вместе с сотнями тысяч тонн сырьевых фосфатных руд приходится закупать за рубежом.

Одним из возможных, альтернативным традиционным технологиям переработки фосфорсодержащего сырья, мог бы стать метод, основанный на механической активации природных фосфатов, имеющий ряд существенных преимуществ (простота осуществления технологического процесса с возможностью использования некондиционного фосфатного сырья, экологическая безопасность и т.п.).

Качество механической активации во многом зависит от типа выбранной машины, в которой данный процесс будет проводиться, а также от интенсивности и продолжительности механического воздействия. В этой связи, для изучения процесса механической активации фосфоритов на кафедре «Машины и аппараты химических и силикатных производств» Белорусского государственного технологического университета была разработана экспериментальная установка на базе дисмембраторной мельницы с классификационной камерой. В результате экспериментальных исследований процесса механической активации фосфатных руд (фосфорита Каратау, Верхнекамского фосфорита и Кировского апатитового концентрата) было установлено:

– дисмембраторная мельница может быть использована для активации фосфорита Каратау (содержание в нем лимоннорастворимой формы  $P_2O_5$  увеличивается после активации на 41 % от исходной) при частоте вращения ротора 1500 об/мин.;

– дисмембраторная мельница может быть использована для активации Кировского апатитового концентрата (содержание в нем лимоннорастворимой формы  $P_2O_5$  увеличивается после активации на 67 % от исходной) при частоте вращения ротора 2000 об/мин.;

– дисмембраторную мельницу не целесообразно использовать для активации Верхнекамского фосфорита в связи с уменьшением в нем после обработки содержания лимоннорастворимой формы  $P_2O_5$  от исходной на 40 % при частоте вращения ротора 1500 об/мин.



**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБА ПОДАЧИ  
БАРОМЕТРИЧЕСКОЙ ВОДЫ  
В ЭКСТРАКТОР НАКЛОННОГО ТИПА**

**М.Г. Кадыков, Д.Н. Люлька**

Научный руководитель – Д.Н. Люлька, ассистент  
*Национальный университет пищевых технологий*  
(Украина)

Одним из основных технологических процессов свеклосахарного производства является извлечение сахарозы из свеклы в экстракторах наклонного типа методом непрерывной противоточной диффузии.

Недостатком экстракторов наклонного типа является то, что в зоне подвода экстрагента возникает неравномерность распределения жидкости в потоке свекловичной стружки, вследствие чего усиливается продольное перемешивание свекловичной стружки, образуется байпасный поток и зона опоздания, что приводит к ухудшению условий массообмена в хвостовой части диффузионного аппарата.

На экстракторах наклонного типа серийного образца устройство для подачи барометрической воды представляет собой соплоаппарат, выполняющий также функции регулятора заполнения аппарата. Существующая конструкция не позволяет равномерно распределить экстрагент в потоке свекловичной стружки, поэтому в «хвостовой» части экстрактора возникает байпасный поток жидкости, движущийся над шнеками. Одновременно с этим, часть барометрической воды, подаваемой в аппарат, попав в зону работы черпачного колеса, образует зону опоздания. Образование байпасного потока и зоны опоздания приводит к ухудшению условий массообмена в хвостовой части экстрактора и увеличению потерь сахарозы в жоме. Решить проблему образования этих негативных факторов можно за счет совершенствования конструкции подачи барометрической воды, а именно обеспечить подачу части барометрической воды через пустотелые рыхлители с перфорированными стенками, которые закреплены на верхних приводных валах с центральными и радиальными каналами. Это позволит исключить возможность образования байпасного потока и зоны опоздания, обеспечит равномерное распределение барометрической воды, что приведет к улучшению условий массообмена между свекольной стружкой и экстрагентом, в результате чего содержание сахарозы в жоме уменьшится.

## **РАЗРАБОТКА НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ФИЛЬТРА**

**М.Э. Костичев, А.В. Сугак, Д.Е. Смирнов**

Научный руководитель – А.В. Сугак, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

Соруководитель – Д.Е. Смирнов, канд. техн. наук

*ЗАО «Кондор-Эко»*

Авторами была разработана новая конструкция электростатического фильтра, позволяющая с высокой эффективностью очищать воздух от тонкодисперсной пыли, обладая при этом малой металлоёмкостью, габаритами и энергопотреблением по сравнению с аналогами.

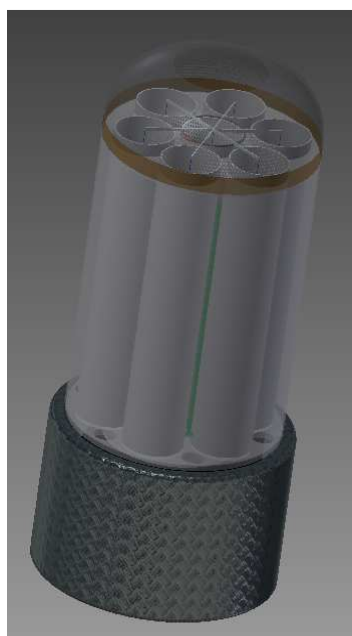


Рисунок 1 –  
Полупромышленный  
образец  
электростатического  
фильтра

После проведения исследований новой конструкции было установлено, что наибольшее количество вещества осаждается на осадительной поверхности при достижении напряженности поля между коронирующим и осадительным электродом  $E = 8$  кВ/см, расходе очищаемого газа проходящего через аппарат, не превышающем  $8,5$  м<sup>3</sup>/ч (скорость движения газового потока в диапазоне  $0,5 - 1$  м/с), и длине осадительного электрода более  $0,85$  м. Оптимальный диаметр осадительной поверхности составляет  $35 - 50$  мм, а материал - пвх.

Данные исследования позволили спроектировать полупромышленный образец электростатического фильтра для очистки воздуха в помещениях общественного питания, медицинских помещениях, серверных комнатах, квартирах и т.д., представленный на рисунке 1.

В настоящее время ведётся моделирование процесса очистки газов от тонкодисперсной пыли в разработанной конструкции, что позволит приступить к работам, направленным на создание промышленного образца электростатического фильтра для очистки газов отходящих от предприятий различной промышленности.

## МОДЕРНИЗАЦИЯ УЛИТКИ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ СВЕКЛОРЕЗКИ С УСТАНОВКОЙ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ИНОРОДНЫХ ТЕЛ

**А.В. Ляшук, А.Н. Люлька**

Научный руководитель – А.Н. Люлька, ассистент  
Национальный университет пищевых технологий  
(Украина)

На подавляющем большинстве сахарных заводов для измельчения свеклы в стружку используются центробежные свеклорезки. Наряду с большим количеством преимуществ данного типа резок, имеются и определенные недостатки, к которым относится избыточная масса улитки, отсутствие предохранительного устройства, которое удаляло бы посторонние тела из рабочего объема свеклорезки.

Синтезировав достоинства существующих улиток мы разработали новую, которая включила в себя преимущества всех предыдущих:

1. электросварная конструкция (меньше масса, улучшенная ремонтпригодность);
2. пустотелая конструкция (уменьшаются затраты энергии на работу свеклорезки);
3. наличие предохранительного устройства.

Модернизированная улитка (рис., а) состоит из: лопастей 1, сердцевины 2, пластин 3, рабочей поверхности лопастей 4, крышек 5, предохранительных устройств состоящих из шиберов 6, пружинного устройства 7 и крепёжных петель 8. В основании улитки, внутри пустотелых лопастей, выполнены отверстия 9 для удаления примесей за пределы рабочего объема свеклорезки.

Принцип работы (рис., б). Инородное тело 10, заклиниваясь между лопастью улитки и внутренней поверхностью барабана, создает дополнительное давление на шибер 6, что приводит к сжатию пружинного устройства и открытию шибера. Примесь 10 попадает во внутреннее пространство лопасти и удаляется через отверстие 9. Дополнительное давление исчезает - шибер 6 закрывается.

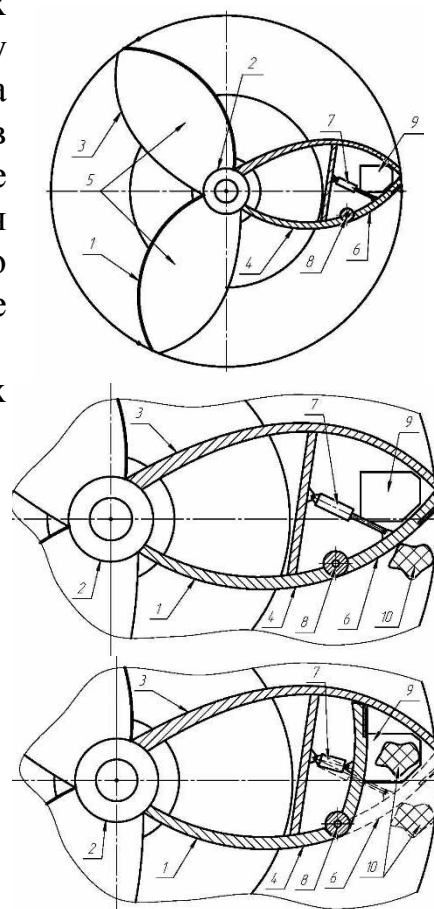


Рис.  
Модернизи-  
рованная улитка  
центробежной  
свеклорезки

## МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ОБОГРЕВА ОБОРУДОВАНИЯ ВАРОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ

**Д.В. Мерзляк, С.А. Удодов, Л.В. Марцинкевич**

Научный руководитель – С.А. Удодов, канд. техн. наук, доцент

*Национальный университет пищевых технологий  
(Украина)*

В настоящее время перед учеными различных отраслей стоит вопрос рационального использования энергии и сокращение энергозатрат. В пивоваренной отрасли пищевой промышленности одним из наиболее энергоемким является оборудование варочного отделения. Подавляющая часть тепловой энергии затрачивается на нагрев заторного и сусловарочного аппаратов. Обогрев аппаратов осуществляется преимущественно за счет паровых рубашек. Проблемой данного способа является образование на поверхности стенки паровой рубашки пленки конденсата, что в определенной степени препятствует теплообмену, что в свою очередь увеличивает продолжительность протекания процессов нагрева и тем самым повышает энергозатраты.

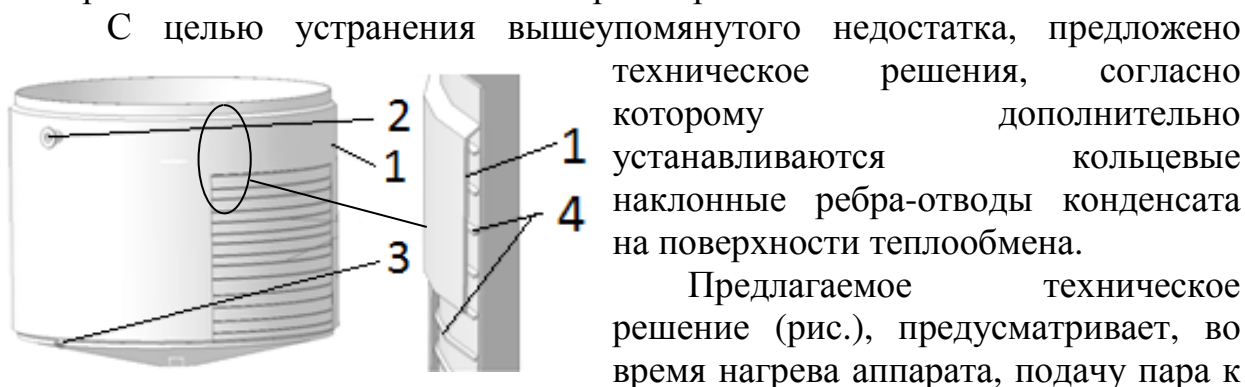


Рис. Паровая рубашка с отводами для конденсата:  
1 - корпус аппарата,  
2 - патрубок подачи пара  
3 - патрубок отвода конденсата, 4 - ребра-отводы конденсата

техническое решения, согласно которому дополнительно устанавливаются кольцевые наклонные ребра-отводы конденсата на поверхности теплообмена.

Предлагаемое техническое решение (рис.), предусматривает, во время нагрева аппарата, подачу пара к паровой рубашке через патрубок 2. При теплообмене через стенку аппарата, на поверхности теплопередачи образуется слой конденсата, который стекает по ребрам-отводам 4, тем самым отделяясь от стенки и освобождает поверхность теплопередачи. В нижней части рубашки скопившийся конденсат удаляется через

патрубок 3.

Модернизация системы обогрева оборудования варочного отделения позволяет интенсифицировать процесс теплообмена, предотвратить негативное явление образования пленки конденсата пара на поверхности теплообмена, и, как следствие, уменьшить энергозатраты и продолжительность протекания процессов нагрева.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БАРАБАННОГО АГРЕГАТА ДЛЯ СУШКИ МОКРЫХ ГРАНУЛ ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА**

**С.В. Коновалов, А.Б. Пряников**

Научный руководитель – И.С. Гуданов, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

В связи с неуклонным ростом выпуска автомобилей, растет спрос на производство шин и резинотехнических изделий, чьи предприятия являются основными потребителями технического углерода. Доля техуглерода в современных вулканизатах может достигать 55%, поэтому он будет играть ключевую роль в качестве готовой продукции.

В настоящее время около 80% всего технического углерода вырабатывается печным методом, где выделенные из аэрозоля, получаемого пиролизом, частицы подвергаются обработке гранулированием и сушкой. Именно на данных стадиях закладываются такие показатели как адсорбционная поверхность, структурность, прочность и твердость.

В зависимости от назначения технического углерода сушка может проводиться конвективным, кондуктивным способами, инфракрасными лучами и в поле токов высокой частоты. Наиболее предпочтительным следует считать совмещение конвективного и кондуктивного способов, реализуемых в сушильном барабане. При этом скорости сушки данных способов на первом и втором периоде различны. Поэтому возникает вопрос о рациональном сочетании режимов сушки и о том как это реализовать конструктивно. В результате анализа современных сушилок была предложена конструкция сушильного агрегата, включающая в себя выносную топочную камеру, вращающийся барабан, камеру обогрева с горелками низкого давления и охладитель. Также были выполнены расчеты подтверждающие целесообразность принятых решений. В результате такой реконструкции барабана БСК-100 было достигнуто увеличение производительности с 4 до 6 т/ч и обеспечена возможность безостановочного ремонта и обслуживание. Кроме того данный агрегат способен обеспечить более мягкий режим сушки до конечной влажности, что несомненно скажется положительно на качестве получаемого гранулята.

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ РЕАКТОРНО-РЕГЕНЕРАТОРНОГО БЛОКА УСТАНОВКИ КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА**

**А.А. Чепраков, А.А. Говязин**

Научный руководитель – И.С. Гуданов, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Производительность НПЗ топливного профиля целиком и полностью определяется комплексом глубокой переработки нефти, в состав которого могут входить висбрекинг, термический крекинг, коксование, каталитический крекинг, гидрокрекинг. Наиболее крупнотоннажным является каталитический крекинг, который может подвергаться термодеструкции на катализаторе как газойли прямой гонки, так и гидрокрекинга, дополненные остатками с комплекса переработки масел или мазутом.

Современные установки каталитического крекинга имеют производительность до 4 млн тонн в год. При этом мощности установки чаще всего сдерживаются регенератором, неспособным полностью выжечь кокс с поверхности катализатора. Однако имеются предпосылки повышения производительности без увеличения объемов реактора и регенератора:

- создание короткой транспортной линии, позволяющей увеличить кратность циркуляции катализатора;
- секционирование внутреннего пространства реактора и регенератора с целью создания режимов приближенных к режимам идеального смешения и вытеснения;
- использование комбинированных сепарационных устройств, основанных на совместном действии центробежных сил, сил тяжести и инерции;
- создание новых конструкций воздухораспределителей;
- использование более эффективных сырьевых форсунок;
- доработка узла захвата катализатора и J-образного колена;
- модернизация десорбера.

На основе сформулированных предложений численно были просчитаны варианты конструкций реакторно-регенераторного блока, по результатам чего могут быть определены основные технико-экономические показатели.

**ОБЗОР ИЗМЕНЕНИЙ НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ,  
КАСАЮЩИХСЯ ОБЩИХ ТЕХНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ  
НА СОСУДЫ И АППАРАТЫ СТАЛЬНЫЕ СВАРНЫЕ**

**М.В. Хохалев**

Научный руководитель – Ю.А. Веткин, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

В 2006 году был принят первый национальный Государственный стандарт (ГОСТ Р 52630-2006), регламентирующий общие технические условия на сосуды и аппараты стальные сварные. До введения данного ГОСТа технические условия определялись различными Правилами Безопасности (ПБ) и отраслевыми стандартами (ОСТ). Введенный документ обобщил в себе информацию разных нормативных документов и внес достаточно много конкретики в вопросы конструкций и технологии изготовления сосудов и аппаратов. В 2013 году утверждена новая редакция данного ГОСТа (ГОСТ Р 52630-2012), которая претерпела существенные изменения.

Всего в документ было внесено около трех десятков изменений. Изменения коснулись области применения, требований по расчетам сосудов и аппаратов, групп сосудов и аппаратов по среде и расчетному давлению, конструктивного оформления. Изменены требования по применению материалов для изготовления, технологии изготовления и испытаний. Внесены изменения в форму паспорта сосуда, работающего под давлением не выше 0,07МПа. В докладе приводится обзор данных изменений и влияние их на конструкцию, и процесс изготовления сосудов и аппаратов.

## **ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕСТОМЕСИЛЬНОЙ МАШИНЫ В САПР AUTODESKINVENTOR 2013**

**П.В. Котенев**

Научный руководитель – А.В. Проворов, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Система автоматизированного проектирования AutodeskInventor 2013 позволяет создавать компьютерные трехмерные модели сложных технических систем, состоящих из десятков тысяч деталей. Построенные модели можно использовать для создания чертежей, моделирования работы машины, анализа пересечения деталей в процессе работы, проведения прочностных расчетов и решения других задач проектирования.

Тестомесильная машина представляет собой техническую систему, содержащую рабочие месильные органы и дежу с приводами их вращения. Рабочие органы имеют сложную пространственную форму и испытывают значительные нагрузки в процессе работы машины. Конструирование и расчет рациональной конструкции машины и ее рабочих органов является трудной задачей, значительно облегчить решение которой позволяют современные САПР.

В докладе показана последовательность создания трехмерной параметрической модели тестомесильной машины в системе AutodeskInventor 2013, на основе которой можно легко получать различные модификации конструкции, подбирать наиболее рациональные варианты. Продемонстрировано использование модуля расчета на прочность методом конечных элементов для выбора оптимальной конструкции месильного органа.



## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ, ДЛИНЫ И СКОРОСТИ (ПТК ТДС) ДВИЖУЩИХСЯ ЛИСТОВЫХ РУЛОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**М.А. Коченков, О.Е. Сабиров, В.П. Круглов**

Научный руководитель – В.П. Круглов, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

Разработано программно-аппаратное обеспечение информационно-измерительной системы (ИИС) для реализации в опытно-промышленном образце системы на производственных линиях шинного завода.

Общий вид экспериментальной установки для проведения испытаний системы в лабораторных условиях представлен на рис. 1.



Рис. 1. Общий вид лабораторной установки

Функциональная схема опытно-промышленного образца ПТК ТДС построена на базе разработанного и изготовленного ранее микропроцессорного устройства и промышленного панельного компьютера AFL-057A-LX/R/256 (рис. 2).



Рис. 2. Рабочая панель машиниста каландровой линии

Исследование технических характеристик системы и анализ результатов испытаний показали удовлетворительную точность, воспроизводимость и сходимость результатов измерений.

## СЕКЦИЯ «АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ»

УДК 66.048.3

### ДЕКОМПОЗИЦИОННЫЙ РАСЧЕТ СЛОЖНЫХ РЕКТИФИКАЦИОННЫХ КОЛОНН

**Д.Н. Волков, Г.Г. Вилков**

Научный руководитель – Г.Г. Вилков, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Рассматривается класс ректификационных колонн с несколькими вводами сырья и несколькими отборами, разделяющих близкие к идеальным смеси. При одноуровневом рассмотрении таких колонн хорошие результаты при моделировании показали "потарелочные" модели Тиле-Геддеса и Льюиса-Матесона. Сложности их использования возникают при решении задач, где требуется многократный расчет модели, в частности при решении задач оптимизации как при проектировании так и при управлении. Это приводит к снижению быстродействия вычислительного алгоритма и ухудшению его сходимости. Для решения подобных задач показала свою эффективность идеология декомпозиции, т.е. разбиение сложной задачи на несколько более простых, реализованная в рамках энтропийного метода моделирования.

Энтропийный метод моделирования, основанный на использовании принципа максимальной энтропии, позволяет получить наиболее правдоподобные результаты на основе достоверной, но всегда неполной информации. Основными достоинствами подхода являются малый объем исходной информации, вероятностный результат, простота нахождения решения.

В рамках предложенной концепции декомпозиции исходная задача расчета сложной ректификационной колонны разбивается на три подзадачи с использованием моделей разной степени детализации. В каждой подзадаче находятся значения управлений. Первая подзадача решается с использованием ранее разработанной энтропийной модели распределения компонентов в выходных потоках многопродуктовой ректификационной колонны в режиме полного орошения. Во второй - рассчитывается распределения компонентов в граничных сечениях секций, при конечном орошении. Под секцией понимается часть ректификационной колонны, находящаяся между точками ввода и (или) отбора. Третья подзадача посвящена потарелочному расчету в рамках каждой секции. Было рассчитано несколько вариантов колонн.

Иерархическая последовательность расчета сложных ректификационных колонн позволяет получить математическую модель, в которой потарелочный расчет заменяется на "посекционный", что повышает быстродействие модели и улучшает сходимость алгоритма решения задачи.

## **КАЛИБРОВКА УПРАВЛЯЕМОЙ СИСТЕМЫ СО МНОГИМИ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ**

**А.В. Баталин, Е.А. Руденчик, Е.Г. Безрукова**

Научные руководители – Е.А. Руденчик, канд. физ.-мат. наук,  
ведущий научный сотрудник; Е.Г. Безрукова, канд. техн. наук, доцент  
*ИЗМИРАН, Ярославский государственный технический университет*

Обычно в теории автоматического управления рассматриваются системы с одним исполнительным элементом. В системе управления изображением Солнца башенного телескопа ИЗМИРАН таких элементов пять: три пьезодвигателя и два шаговых двигателя. Положение изображения Солнца определяется углами наклона двух плоских зеркал, входящих в состав телескопа. Три пьезодвигателя определяют координаты трех точек на поверхности первого зеркала и, таким образом, определяют углы наклона этого зеркала. Два шаговых двигателя вращают второе зеркало вокруг двух взаимно перпендикулярных осей. Пьезодвигатели обеспечивают высокую скорость реакции на управляющие сигналы, но имеют маленький динамический диапазон. Шаговые двигатели реагируют на сигнал сравнительно медленно, но динамический диапазон у них неограничен.

Управляющие сигналы представляют собой напряжения, подаваемые на двигатели управляющим компьютером. Результатом управления являются две координаты центра Солнца. Важно, что результаты управления зависят не только от напряжений, поданных на двигатели в данный момент, но и от напряжений, которые подавались ранее. Чтобы описать реакцию такой системы на сигналы управления, надо, основываясь на достаточно общих предположениях (линейная зависимость результатов управления от управляющих сигналов, идеальная работа двигателей, усилителей и других элементов), разработать математическую модель – функцию передачи управления. Аргументами этой функции должны быть ряды напряжений, формируемых управляющим компьютером, значениями – векторы координат изображения центра Солнца. В работе предложен набор экспериментов для определения параметров этой функции, и экспериментов, подтверждающих корректность сделанных предположений, т.е. калибровка системы. Калибровка представляет собой измерение координат центра Солнца при разных напряжениях, подаваемых на двигатели. Если калибровка показывает, что математическая модель неадекватна, то либо надо менять модель, либо принимать меры для исправления работы системы.

В работе предложена формула для функции передачи управления изображением Солнца на башенном телескопе ИЗМИРАН. Дано обоснование набору необходимых калибровочных процедур. Приведен анализ результатов первых калибровочных измерений.

**ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОТДЕЛЕНИЕМ  
ГАЗОРАЗДЕЛЕНИЯ КРУПНОТОННАЖНОГО  
ПРОИЗВОДСТВА ЭТИЛЕНА В СОСТАВЕ ЭП-300**

**И.И. Верлока, Г.Г. Вилков**

Научный руководитель – Г.Г. Вилков, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Объектом исследования является многоколонная ректификационная установка. В ней формируется качество основной товарной продукции - этилена и пропилена. Включение колонн здесь последовательно-параллельное, присутствуют рециклы.

Постановка задачи заключается в следующем. Требуется найти такие значения управлений, которые позволили бы получить товарные фракции (метановую, этиленовую, пропиленовую, бутилен-дивинильную и фракцию более тяжелых компонентов) регламентного качества при минимальных энергетических затратах на разделение. В постановке задачи имеется ограничение на температуру куба некоторых колонн.

Для решения задачи использован декомпозиционный метод оптимального управления. В рамках метода, базирующегося на идеях системно-информационного подхода, в качестве оценки энергетических затрат использован критерий относительной организованности ректификационной системы. Этот критерий максимизируется по интенсивным управлениям (при изменении которых можно повысить качество разделения при относительно неизменных энергетических затратах) и минимизируется по экстенсивным управлениям (при изменении которых можно улучшить качество разделения только за счет увеличения затрат) при гарантированном обеспечении качества товарных фракций. Повышение качества разделения смеси экстенсивным воздействием на систему следует пользоваться только в том случае, когда интенсивные пути воздействия исчерпаны.

Для анализа функционирования отдельных ректификационных колонн разработаны их математические модели. Модели откорректированы по данным технологического регламента. При использовании математической модели получены условия оптимальности отделения газоразделения. Составлено математическое описание отделения, состоящее из уравнений общего и покомпонентного материального баланса отдельных колонн, уравнений нормировки концентраций и полученных условий оптимальности. При этом размерность вектора управлений понижена до шести. Разработан алгоритм решения задачи оптимального управления и компьютерная программа, реализующая этот алгоритм.

## **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТА**

**Д.А. Ивнев, Ю.В. Васильков**

Научный руководитель - Ю.В. Васильков, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Технология производства цемента традиционно является энергоемкой. Существует несколько способов производства: сухой, мокрый, комбинированный. Особенность сухого способа в том, что сырьевая смесь транспортируется и обрабатывается в сухом виде. Он наиболее экономичный, поэтому находит большее применение.

Для получения качественного продукта сырьевая смесь должна пройти процессы измельчения, гомогенизации, декарбонизации, обжига, охлаждения, помола. Остановимся на процессах декарбонизации и обжига, так как именно снижение затрат тепловой энергии путем изменения алгоритма управления процессом на сегодняшний день актуально. Традиционно в качестве источника тепловой энергии используют мелкодисперсный уголь и газ. Однако их цена весьма высока, поэтому все больше распространено применение альтернативного топлива.

Условно альтернативное топливо разделяют на три типа: легкое, среднее, тяжелое. Такое разделение подразумевает степень вредного влияния на окружающую среду, количество и качественный состав продуктов сгорания. Поскольку топливо сжигается в процессах декарбонизации и обжига, то эти процессы являются источниками значительной части вредных выбросов и целесообразно снижать степень их вредного влияния.

Таким образом, существует три показателя, экстремум которых не может быть достигнут одновременно: качество продукта, степень вредного влияния на окружающую среду, затраты на получение тепловой энергии. Так, например, для достижения наименьшей стоимости продукта необходимо максимально использовать «тяжелое» альтернативное топливо, это наиболее выгодно для производства. Однако в этом случае выбросы будут «наихудшими» и обеспечить наивысшее качество невозможно. Оно достигается при отказе от альтернативного топлива, тогда, используя только традиционные виды топлива, может быть получено наивысшее качество. Но при этом воздействие на окружающую среду и стоимость продукта будут не минимальны.

Таким образом, существует научная задача поиска значений параметров технологического процесса, при которых обеспечивается требуемое значение критерия оптимальности, включающего качество продукта, степень вредного влияния на окружающую среду и затраты на производство тепловой энергии.

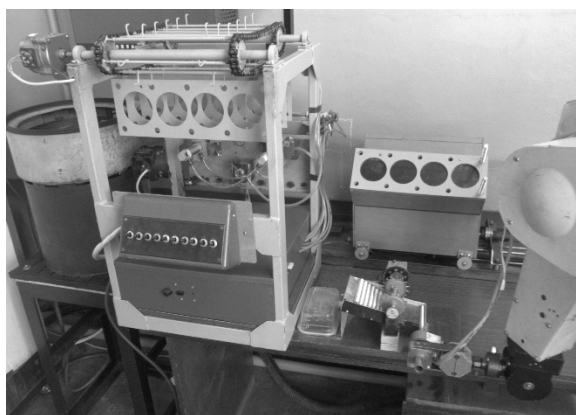
## **АВТОМАТИЗАЦИЯ СБОРОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ НА ЛИНИИ СОМАУ**

**П.А. Климов, А.Д. Боровков, В.Е. Тюленев**

Научный руководитель – В.Е. Тюленев, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Процесс сборки автомобильных двигателей на некоторых участках линии СОМАУ (ОАО «Автодизель») в настоящее время сопровождается ручными операциями. В частности, на операциях по запрессовке установочных штифтов в блок цилиндров, установке прокладки головки блока и наживлению шпилек крепления головки блока заняты два члена бригады сборщиков.

С целью комплексной автоматизации указанных сборочных операций на кафедре «Кибернетика» разработан макет робототехнического комплекса (РТК) на базе промышленного робота РМ-01 с манипулятором «PUMA-560» и цифровой системой управления (ЦСУ) «Сфера-36». РТК включает две позиции: на первой позиции производится автоматическая запрессовка штифтов и установка прокладок головки блока, а на второй позиции – наживление шпилек в блок цилиндров.



Макет РТК

Первая позиция оснащена двумя транспортными системами: вибробункером для подачи штифтов и цепным конвейером для подачи прокладок, а также системой электро- и пневмоприводов для выполнения установочных и технологических движений по командам ЦСУ в режиме циклового управления.

На второй позиции установлен магазин шпилек с устройством для их поштучной выдачи и манипулятор «PUMA-560», управляемый ЦСУ в контурном режиме. Манипулятор оснащен специальной пневмовихревой камерой [1] для ориентирования и наживления шпилек во вращающемся вихревом воздушном потоке.

Проведенные испытания РТК создают предпосылки для внедрения этого комплекса в производственный процесс.

---

Боровков А.Д., Тюленев В.Е. Автоматизация процесса сборки резьбовых соединений // Шестьдесят пятая всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и магистрантов высших учебных заведений с международным участием. Ярославль Ч.1: тез. докладов. - Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2012. - 444 с.

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЕМ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ**

**А.С. Колодкина, О.Ю. Марьясин**

Научный руководитель – О.Ю. Марьясин, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Контроль и управление потреблением расхода энергоресурсов в настоящее время является одной из важнейших задач науки и техники. Внедрение энергосберегающих технологий не возможно без объективного учета потребления энергоресурсов. Особенно актуально решение этой проблемы в жилищно-коммунальном хозяйстве для индивидуального учета, что позволяет стимулировать население к экономии энергоресурсов.

Существует ряд технических решений систем, предназначенных для индивидуального учета расхода тепловой энергии в зданиях и сооружениях. Но некоторые решения могут использоваться или только для определенных систем отопления или слишком дороги, или имеют недостаточно высокую точность.

Для научного исследования интеллектуальных энергосберегающих систем управления потреблением тепловой энергии можно использовать следующие лабораторные измерительные комплексы, созданные в 2013 году в ЯГТУ по программе стратегического развития ВУЗа:

- мобильный аппаратно-программный комплекс для демонстраций работы электронных компонентов энергосберегающих систем. На стенде установлен один стояк, имитирующий работу однотрубной системы отопления.
- учебно-научный аппаратно-программный комплекс для исследований интеллектуальных энергосберегающих систем учета потребления воды и тепловой энергии. В состав комплекса входят два стояка отопления, имитирующих работу однотрубной системы отопления. Так же комплекс имитирует систему водоснабжения трехэтажного здания.
- учебно-научный аппаратно-программный комплекс для исследований интеллектуальных энергосберегающих систем учета тепловой энергии в двухтрубных системах отопления. В составе комплекса один стояк, имитирующий работу двухтрубной системы отопления.

В состав измерительных комплексов входят: контрольно-измерительные приборы; оборудование, регулирующее изменение внутренних параметров системы; вычислительные средства; элементы проводного и беспроводного интерфейсов. Стенды имитируют работу систем отопления в реальных условиях эксплуатации.

## **К ВОПРОСУ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ КАЛИБРОВКИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕПЛОВИЗИОННЫХ ПРИБОРОВ**

**А.Е. Гузанова, А.С. Кузнецов, Е.А. Сидельников, А.В. Печаткин**

Научный руководитель – А.В. Печаткин, канд. техн. наук

*Рыбинский государственный авиационный технический университет*

Создание оптоэлектронной тепловизионной техники специального назначения предусматривает проведение калибровки в широком диапазоне отрицательных и положительных температур. Процесс калибровки осуществляется с помощью тепловой мишени на базе инфракрасного излучателя, обеспечивающего формирование равнотемпературного поля с точным управлением по всей излучающей поверхности. Однородность и стабильность характеристик инфракрасного излучателя играют важную роль в процессе калибровки. Для снижения ошибок немаловажное значение также имеет геометрический размер теплового поля, который должен не менее чем в десять раз превышать элементарное поле зрения калибруемого тепловизора. В настоящее время размеры равнотемпературного поля доступных зарубежных образцов инфракрасных калибраторов достигают 300×300 мм. Диапазон отрицательных температур, масса и габаритные размеры определяются видом охлаждения: воздушным или жидкостным.

Для перспективных образцов тепловизионной техники указанных выше размеров поля уже недостаточно, поэтому в студенческом КБ кафедры РТС РГАТУ разработан проект эталонного протяженного инфракрасного калибратора с излучающей поверхностью 500×500 мм и возможностью проведения циклической калибровки в ручном и автоматическом режимах. Калибратор выполнен на основе термоциклируемой матрицы, позволяющей использовать различные виды охлаждения в зависимости от нижней границы температурного диапазона: воздушное, водяное и жидкостно-газовое. Управление матрицей осуществляется модулем сбора информации компании внешнего ПО на платформе LabVIEW. Требуемая точность управления температурой (не хуже 0,05 °С) и разрешающая способность (не хуже 0,005%) достигаются как электрическими, так и конструктивными решениями: сканирующим матричным питанием от независимых управляемых источников; программным формированием «тепловой волны»; локальным термоциклированием элементов матрицы; применением теплового аккумулятора с квазипирамидальной структурой внешнего слоя; высокоточными кварцевыми датчиками температуры, двухзоновым измерением влажности излучающей поверхности для управления процессом образования инея и конденсата и т.д. Предусматривается создание опытного образца и проведение его испытаний на базе серийного завода.



**ДИАГНОСТИКА КИП МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ****В.В. Кузьмин, М.П. Цыганков**

Научный руководитель – М.П. Цыганков, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Работа посвящена проблеме диагностики КИП магистрального трубопровода с целью повышения надежности функционирования систем его автоматизации.

Актуальность работы обусловлена ужесточающимися требованиями к безопасности трубопроводных систем в условиях постоянного увеличения их общей протяженности.

Обычный режим эксплуатации трубопровода является стационарным или псевдостационарным. С учетом этого по результатам измерений давлений  $P_k$  в трубопроводе, расхода  $Q$  перекачиваемой жидкости, уровней  $z_k$  прокладки трубы, полученных от средств автоматизации трубопровода, можно вычислить значение коэффициента, зависящего от физических характеристик трубопровода (шероховатость, местные сопротивления) на  $k$ -м контролируемом участке.

$$r_k = \frac{\pi^2 d^4 (P_{k-1} - P_k - \rho g(z_k - z_{k-1}))}{8 \rho Q^m} \quad (1)$$

Из условий постоянства с заданной степенью точности значений  $r_k$  следует вывод о высокой вероятности исправности КИП.

Для получения расчетно-диагностических соотношений дефект моделируется существенным смещением  $\delta x$  измеренных значений переменных, входящих в формулу (1).

Диагностические уравнения для выявления и оценки величины  $\delta x$  получаются на базе применения принципа аналитической избыточности.

В работе рассматриваются смежные участки  $k$  и  $k+1$  контроля давлений  $P_k$ , для которых в условиях отсутствия дефектов выполняются соотношения (1) вычисляемые по измеренным значениям переменных. Например, в случае возникновения дефекта датчика  $P_k$  имеем:  $P_{ик} = P_k + \delta P_k$ . В силу этого расчетное значение константы  $r_k$  изменится. Получим для  $k$ -го и  $k+1$ -го участков соответственно:

$$r_{ик} = \frac{\pi^2 d^4 (P_{k-1} - P_{ик} - \rho g(z_k - z_{k-1}))}{8 \rho Q^m} = \frac{\pi^2 d^4 (P_{k-1} - (P_k + \delta P_k) - \rho g(z_k - z_{k-1}))}{8 \rho Q^m} \quad (2)$$

$$r_{ик+1} = \frac{\pi^2 d^4 (P_{ик} - P_{k+1} - \rho g(z_{k+1} - z_k))}{8 \rho Q^m} = \frac{\pi^2 d^4 ((P_k + \delta P_k) - P_{k+1} - \rho g(z_{k+1} - z_k))}{8 \rho Q^m}, \quad (3)$$

где  $r_{ик} = r_k + \delta r_k$ . Диагностирование выполняется последовательным сравнением пар значений  $\delta r_k$ , найденным из (2) и (3) для различных  $k$ .

## **ДИАГНОСТИКА УТЕЧЕК ТРУБОПРОВОДОВ ПО ДАННЫМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ ДАВЛЕНИЙ**

**В.В. Кузьмин, М.П. Цыганков**

Научный руководитель – М.П. Цыганков, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Актуальность проблемы диагностики магистральных трубопроводов с целью обнаружения утечек нефти или нефтепродуктов работы обусловлена ужесточающимися требованиями к безопасности трубопроводных систем в условиях постоянного увеличения их общей протяженности. Рост протяженности и старение трубопроводов, эксплуатируемых десятки лет, повышает риск возникновения утечек жидкости и, как следствие, крупных техногенных аварий. Предотвратить такие аварии или уменьшить вероятность их возникновения можно путем мониторинга параметров трубопроводной системы.

Обычный режим эксплуатации трубопровода является стационарным или псевдо стационарным. Разработка модели для таких условий эксплуатации, позволяет отказаться от принятия допущений о виде модели дефекта, обычно описываемой в литературе. Отказ от описания дефекта как зависимости расхода от перепада давления и конфигурации повреждения (отверстия, трещины) возможен за счет аналитической избыточности в системе уравнений течения жидкости по трубопроводу.

Избыточность обусловлена вводом в уравнения измеренных значений давления в контрольных сечениях трубопровода и расходов в местах подачи и приема потока. Измеренные значения передаются датчиками системы автоматизации контроля и управления транспортировкой нефти в диспетчерскую, где и происходит обработка информации средствами АСУ ТП.

При этом место возникновения утечки оказывается возможным вычислить по давлениям в двух смежных сечениях трубопровода, между которыми имеется повреждение, а также небалансу расходов на приемной и передающей нефтеперекачивающих станциях. Одновременное оценивание этого небаланса (утечки) и места ее возникновения возможно подгонкой расчетного профиля давлений под несколько измеренных значений давления по длине трубопровода.

Получены диагностические уравнения для вычисления места  $x_{ут}$ , величины  $Q$  и давления  $P_{ут}$  в сечении утечки в зависимости от измеренных значений давлений в контрольных точках по длине трубопровода, а также значений местных сопротивлений  $\zeta_m$  и коэффициентов  $\lambda_T$  трения жидкости о стенки трубы. Значения  $\zeta_m$  и  $\lambda_T$  оказывается возможным идентифицировать по данным промышленных измерений давлений и расхода.

## **ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ СКЛАДА ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЕГО РАБОТОЙ**

**А.А. Огарков, Д.И. Алиев, Ю.В. Васильков**

Научный руководитель – Ю.В. Васильков, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Целью данного исследования является построение модели процесса функционирования склада готовой продукции предприятия, которая, в дальнейшем, будет использоваться при разработке системы оптимального автоматического управления.

В исследуемом сложном процессе (работе склада), как системе, можно выделить следующие элементы: складское поле, загрузочный и разгрузочный манипуляторы, приёмный и выходной транспортёры, хранящиеся изделия и управляющий алгоритм. Как внешние по отношению к складу, но важные для его работы, также рассматриваются процессы производства и потребления изделий. Соответственно, кинематика и динамика перемещения манипуляторов в свободном и нагруженном состоянии, динамика заполнения складского поля, процесс хранения изделий, процессы производства и потребления представляются в виде детерминированных или стохастических математических моделей, которые, в свою очередь, являются элементами имитационной модели работы всего склада в целом. Причина использования имитационного моделирования наряду с математическим заключается в сложности разработки методики синтеза алгоритмов размещения и отбора изделий, перемещения манипуляторов, а также формализации самих алгоритмов и методов оценки их эффективности. Набор исследуемых алгоритмов определяется эвристически. Параметрами модели, характеризующими состояние склада в его текущем состоянии являются следующие переменные: законы распределения случайных величин спроса и предложения, заполнение склада (абсолютное значение и по зонам), состояние и координаты манипуляторов, количество изделий во входной очереди, частота использования ячеек склада.

При прогоне модели с имитацией различных алгоритмов работы склада осуществляется варьирование параметров производства и потребления изделий в диапазонах, определённых исходя из наблюдения за складом готовой продукции с последующим расчётом экономических показателей. Таким образом, выполняется выбор из набора алгоритма, обеспечивающего наилучшие экономические показатели при данных значениях переменных состояния склада.

## **КОМБИНИРОВАНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ РЕГУЛИРУЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

**К.А. Ракутин, Д.И. Алиев, И.И. Верлока**

Научный руководитель – М.П. Цыганков, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Одним из важных путей обеспечения устойчивости регулирования в системах с обратной связью является повышения точности позиционирования исполнительного устройства (ИУ). Даже при использовании высокоточного (например, двенадцатиразрядного) цифроаналогового преобразователя для получения аналогового сигнала регулирующего воздействия и электропневматического позиционера для пневматических исполнительных устройств гистерезис и сухое трение могут вносить неблагоприятный вклад в формирование ошибки регулирования. Проблема еще более усугубляется применением электрических ИУ.

Известны попытки решения проблемы формирования регулирующего воздействия, (когда роль такого воздействия играет изменение значения  $X_p$  расхода жидкой или газообразной среды), путем распараллеливания потоков этой среды и варьирования каждого из них индивидуальным ИУ.

Целесообразность использования для этого комбинации узко- и широкодиапазонного устройств обосновывается концепцией ресурсного подхода для формирования  $X_p$ . В предлагаемой работе выполнено исследование характера изменения качества регулирования расхода при переходе от широкодиапазонного к комбинированному формированию  $X_p$ .

При использовании единственного клапана с широкодиапазонным изменением  $X_p$  следует ожидать заметного проявления неблагоприятных свойств ИУ (гистерезиса, сухого трения) в случае малых значений  $E$  ошибок регулирования, когда требуется лишь незначительное варьирование  $X_p$ . «Загруженность» регулятора приведет к снижению качества регулирования.

Влияние гистерезиса и сухого трения естественным образом проявляется намного слабее при формировании  $X_p$  узкодиапазонным ИУ в системе комбинированного применения ИУ.

В работе сопоставление двух вариантов применения ИУ выполнено моделированием систем автоматического регулирования расхода газовой среды в приложении Simulink пакета компьютерной математики Matlab. Предложено формировать  $X_p$  широкодиапазонного ИУ по отклонению регулирующего воздействия узкодиапазонного ИУ от его среднего значения. Тем самым решается как проблема расширения ресурса управления при поступлении значительных возмущений в систему регулирования, так и повышения точности управления. Имитация в среде Simulink работы систем убедительно иллюстрирует достоинства "комбинированного" подхода, позволяющего существенно уменьшить ошибку регулирования.

**ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ  
ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ  
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СКЛАДА**

**А.П. Смирнова, А.А. Огарков, Ю.В. Васильков**

Научный руководитель – Ю.В. Васильков, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Целью данного исследования является улучшение экономических показателей работы склада готовой продукции предприятия, таких как коэффициент использования ёмкости, грузооборот (общее количество переработанных складом товаров), пропускная способность (количество товаров, переработанных складом за единицу времени), средний срок хранения и другие. Для её достижения решается задача разработки системы автоматического оптимального управления процессом функционирования склада. Необходимость в данной системе возникла в связи с недостаточной эффективностью применяемого на данный момент ручного управления.

Система автоматического управления должна выбирать оптимальный алгоритм размещения и отбора изделий, а также движения манипуляторов в зависимости от текущей ситуации на складе и характера производства и потребления изделий. Для её разработки необходимо последовательное решение группы задач. В первую очередь, необходимо определение основных переменных, характеризующих состояние склада, производство и потребление в каждый момент времени. Затем – выделение множества возможных алгоритмов размещения и выгрузки изделий, а также движения манипуляторов и оценка экономических показателей их эффективности при различных значениях переменных состояния. Впоследствии будет выполняться разработка алгоритма работы системы управления, выполняющего выбор алгоритмов размещения изделий и движения манипуляторов в зависимости от значения переменных, характеризующих состояние склада, спрос и потребление изделий.

Набор исследуемых алгоритмов определяется исходя из опыта эксплуатации склада на производстве. Так как проведение активных экспериментов на реальном объекте не представляется возможным с экономической точки зрения, для оценки их эффективности построена комбинированная (математическая и имитационная) модель функционирования склада.

## **АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ СКЛАДОМ**

**В.С. Федотов, Ю.В. Васильков**

Научный руководитель – Ю.В. Васильков, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

В настоящее время существует множество разновидностей складов и конечно же огромное количество алгоритмов работы погрузчиков на этих складах. Имидж компании зависит от скорости и качества обслуживания клиентов. Быстроту и высокое качество обслуживания могут обеспечить правильно подобранные алгоритмы, обеспечивающие оптимальную работу склада.

Благодаря оптимальному размещению изделий на складе минимизируется время ожидания клиентом своего заказа при отгрузке, не возникает (или минимизируется) очередь с производства на склад. Для того чтобы произвести выбор наиболее эффективного алгоритма нами была предпринята попытка составления классификации алгоритмов для автоматического склада с двумя манипуляторами.

Алгоритмы можно классифицировать по следующим признакам:

- 1) по способу размещения изделий манипулятором А (F-first (первый));
- 2) по способу работы второго манипулятора (S-second (второй));
- 3) по совместному алгоритму работы (CA-combined algorithm (комбинированный алгоритм));
- 4) по приоритетности в спорных ситуациях (P-priority (приоритет));
- 5) по ограничениям работы манипуляторов (C-confines (ограничения));
- 6) по оказанию помощи другому манипулятору (H-help (помощь));
- 7) прогнозирование и работа манипуляторов в фиксированные интервалы времени.

При помощи данной классификации легче сформировать общие основные алгоритмы управления автоматизированным складом в зависимости от входных параметров, таких как очередь на подводящем транспорте, неудовлетворенный спрос потребителя. Все процессы поступления отгрузки продукции, проходящие на автоматизированном складе, носят случайный характер и все многообразие алгоритмов нельзя проверить на оптимальность аналитически, поэтому в решении оптимального управления и выборе алгоритма управления манипуляторами может помочь только имитационное программирование при использовании специального программного обеспечения.

## СЕКЦИЯ «СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА»

УДК 624.138

### СТАБИЛИЗАЦИЯ ГРУНТА

**А.С. Асташкин**

Научный руководитель – В.М. Дудин, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

Стабилизация представляет собой метод связывания слабых грунтов путем добавления сухих или влажных вяжущих материалов для ослабления усадки или усиления устойчивости насыпей для автомобильных и железных дорог. Такими вяжущими стабилизаторами могут служить цемент, известь, битум и другие вещества, с помощью которых грунт приобретает повышенную структурную прочность и свойства твердого тела. Грунт можно стабилизировать поверхностно, либо формированием колонн из стабилизированного грунта (так называемая «стабилизация колоннами»), либо путем стабилизации всего объема грунта (так называемая «стабилизация массивом»). Глубинная стабилизация может применяться для стабилизации различных типов грунтов. В Европе глубинная стабилизация слабых минеральных грунтов при помощи извести и цементных колонн применяется в Швеции и Финляндии уже более 20 лет для уменьшения усадок и усиления устойчивости насыпей.

Преимущества стабилизации: малые временные затраты, экономия материалов и энергии, экологичность, долговечность стабилизированного участка.

Для стабилизации грунтов применяются различные виды стабилизационного оборудования, включающие специализированные самоходные комплексы, прицепные или навесные устройства.

В любом случае комплекс оборудования для стабилизации грунта обеспечивает выполнение основных операций технологического процесса стабилизации грунта: фрезерование грунта на различную глубину, внесение вяжущих материалов и перемешивание вяжущих материалов с грунтом.

Для уплотнения грунтовой смеси применяются традиционные грунтовые катки или трамбовочные плиты.

## **ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ ПРОЕКТ «ДОРОГИ РОССИИ»**

**А.Д. Баранник, А.В. Симонова**

Научный руководитель – А.В. Симонова, преподаватель  
*Ярославский государственный технический университет*

Удобная для жизни городская транспортная сеть и возможность активного передвижения по ней – один из ключевых факторов привлекательности города.

Одна из основных бед Ярославля, как и большинства городов России, – дороги. Комфорт и скорость передвижения по городу или на дальние расстояния во многом определяется качеством дорожного покрытия. Ямы, выбоины и трещины становятся причинами пробок и аварий на автомобильных дорогах.

Чтобы сделать жизнь автомобилистов проще, Google Россия и Auto.ru совместно создали общественный некоммерческий проект «Дороги России». Основная задача проекта – предоставить возможность оценивать и отслеживать состояние дорог в среднем по стране и для конкретного участка дороги.

Уникальность созданной системы заключается в использовании инновационных методик сбора, обработки и хранения информации. Была разработана сложная математическая модель обработки данных. На сайте проекта доступна спутниковая карта, дороги на которой окрашены в соответствии с качеством покрытия. Также на сайте можно посмотреть фотографии дефектов дороги и проголосовать за то, чтобы они были устранены.

Принцип сбора информации о качестве такой: мобильное приложение «считывает» данные о колебаниях подвески автомобиля, о характеристиках его движения после их анализа, делает вывод о качестве дороги в этом месте.

Для того чтобы оценить эффективность использования созданной системы было проведено натурное обследование участка ул. Гагарина. Сопоставив результаты натурных наблюдений, с данными геоинформационного сервиса был сделан вывод, что информация, предоставленная проектом «Дороги России», соответствует действительности. Благодаря недавнему ремонту на улице не возникает пробок и заторов. Состояние покрытия соответствует указанному на сервисе «Дороги России» – оно ровное, прежних ям и выбоин нет.

Проект «Дороги России» не только помогает серьезно подойти к комфорту своих улиц и поддержке устойчивых транспортных решений активного передвижения, но также предоставляет возможность оценивать и отслеживать состояние покрытия для конкретного участка дороги.



## **АВТОМАТИЧЕСКАЯ АВТОЗАПРАВОЧНАЯ СТАНЦИЯ**

**М.В. Басков, А.В. Симонова**

Научный руководитель – А.В. Симонова, преподаватель  
*Ярославский государственный технический университет*

Автоматическая автозаправочная станция (ААЗС) представляет из себя, комплекс оборудования, выполненный как сборное заводское изделие, предназначенный для коммерческой эксплуатации с возможностью приема наличных средств, работой с банковскими и корпоративными топливными картами.

Экономическая составляющая при установке ААЗС для коммерческой эксплуатации в несколько раз выше, чем строительство полноценной стационарной АЗС. Снижение затрат при вводе в эксплуатацию ААЗС, а так же сокращение прямых эксплуатационных расходов, связанных с работой блочной АЗС по сравнению с традиционными полноценными заправочными станциями, обеспечивают минимальную стоимость одного литра отпускаемого топлива, что в целом влечет за собой увеличение продаж и привлечение постоянных потенциальных клиентов.

ААЗС осуществляет работу полностью в автоматическом режиме и позволяет: принимать, хранить и вести учет светлых нефтепродуктов; минимизировать срок установки и ввода в эксплуатацию ААЗС (3-4 недели); максимально уменьшить срок окупаемости вложенных средств; принимать, хранить и контролировать отпуск нефтепродуктов; производить одновременный отпуск различных видов топлива нескольким транспортным средствам; проводить регистрацию расчетов без участия оператора; принимать наличные платежи; принимать безналичные платежи международных платежных систем; принимать корпоративные или топливные карты; осуществлять видеонаблюдение всей территории ААЗС; осуществлять распознавание лиц клиентов; осуществлять распознавание номеров транспортных средств; транслировать и одновременно записывать на жесткий диск или удаленный видеосервер в режиме on-line видео сигнал с нескольких камер, установленных на ААЗС; вести переговоры с клиентом из удаленного диспетчерского пункта по системе – двусторонняя аудиосвязь; экономить на площади установки ААЗС, в виду отсутствия операторской и подсобных помещений; в автоматическом режиме осуществлять заказ нефтепродуктов; работать в различных климатических условиях; осуществлять сбор ливневых стоков и аварийного сбора пролитых нефтепродуктов.

Конструктивно ААЗС выполнена сборным заводским изделием, предназначенным для приема, хранения, учета и выдачи в автоматическом режиме нескольких видов светлых нефтепродуктов.

## **ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОРГАНИЗАЦИИ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ**

**А.С. Букин, А.А. Игнатьев**

Научный руководитель – А.А. Игнатьев, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Безопасность дорожного движения – комплекс мероприятий направленный на обеспечение безопасности всех участников дорожного движения.

Искусственные дорожные неровности. Изделие "искусственная дорожная неровность" (ИДН) предназначено для принудительного ограничения скорости движения автотранспорта в местах повышенной опасности, таких как: школы, магазины, больницы, остановки, пешеходные переходы и т.д. "Лежачие полицейские" изготавливаются из резины. На лицевой поверхности, в углублениях, находятся вставки из резины желтого цвета, поверх которых наклеена разметочная световозвращающаяся лента желтого цвета для улучшения видимости в темное время суток. На лицевой поверхности ИДН нанесен протектор в виде шашечек, который обеспечивает наилучшее сцепление с колесами автотранспорта.

Колесоотбойник. Колесоотбойник резиновый предназначен для защиты автотранспортного средства от случайного столкновения со стенами, колоннами и прочими элементами парковки, а также другими транспортными средствами выполняя сигнальную и демпфирующую функции. Так же колесоотбойник резиновый идеально подходит для отделения зон нежелательных для проезда транспортных средств. Изделие крепится к поверхности с помощью анкерных болтов.

Демпфер угловой. Демпфер оказывает защиту углов фасадов домов, въездных ворот, в условиях стесненного пространства, тоннелей, колонн, стен от механических повреждений транспортом при въезде и движении, а также предохраняет автомобиль от повреждений при маневрировании и открывании дверей, широко применяются на парковках и паркингах, гаражах общего пользования, морских портах. Представляет собой резиновую основу, оклеенную световозвращающей пленкой повышенной яркости. Крепится к поверхности с помощью саморезов.

Делиниатор. Изделие "делиниатор" предназначено для разделения и перенаправления потоков автотранспорта и для обозначения подъезда к опасному месту (опора моста и т. д.). Используется при обустройстве парковок. Изготовлен из резины черного цвета, по бокам изделия наклеены полосы желтого цвета из разметочной световозвращающей ленты для улучшения видимости в темное время.

## **УМЕНЬШЕНИЕ ШИРИНЫ ПОЛОСЫ ДВИЖЕНИЯ**

**А.С. Казанов, А.А. Игнатьев**

Научный руководитель - А.А. Игнатьев, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

Пересмотр стандарта ширины полосы движения на автомобильных дорогах с нынешних 3,75 м до 3,5 м поможет уплотнить автомобильную сеть и тем самым повысить пропускную способность дорог и улиц.

Полоса движения – продольный участок проезжей части, шириной достаточной для движения автомобилей в один ряд. Полоса движения может быть обозначена дорожной разметкой. В этом случае ширину полосы движения принимают с учетом категорий дорог согласно требованиям действующих строительных норм и правил. Ширину полосы движения определяют по расстоянию между осями линий разметки, обозначающих её границы.

Нормы проектирования устанавливают ширину полос движения и их количество в зависимости от категории дороги. Так, по СНиП 2.07.01-89 ширина полосы для дорог в населенных пунктах принимается от 2,75 м для второстепенных проездов до 4,0 м для пешеходно-транспортных магистральных улиц районного значения. Вне населенных пунктов СП 34.13330-2012 регламентирует ширину полосы движения 3,75 м для дорог I и II категорий, 3,50 м - для дорог III категории и 3,0 м - для дорог IV категории. При отсутствии разметки водители должны сами определять количество полос движения, исходя из термина "Полоса движения".

Следует учитывать, что ширина проезжей части и ширина полосы движения оказывает существенное влияние на режим движения автомобилей. Например, ширина полосы движения, значительно превышающая нормы, способна стимулировать увеличение скорости движения за пределы безопасного уровня. Так, исследования, выполненные в США, показали, что влияние ширины полосы движения на показатели аварийности носит противоречивый характер и может способствовать как сокращению, так и росту аварийности в зависимости от конкретных условий.

Таким образом, уменьшение ширины полосы движения должно не только увеличить пропускную способность трасс, но и дать существенную экономию при строительстве автодорог. Однако следует помнить и о повышении безопасности движения на дорогах и улицах.

## **АНАЛИЗ ЗАГРУЖЕННОСТИ ГОРОДСКИХ УЛИЦ С ПОМОЩЬЮ ВЕБ-СЕРВИСА «ЯНДЕКС.ПРОБКИ»**

**А.К. Кирсанов, А.В. Симонова**

Научный руководитель – А.В. Симонова, преподаватель  
*Ярославский государственный технический университет*

Автомобильная пробка или дорожный затор – это скопление транспортных средств на дороге, движущихся со средней скоростью, значительно меньшей, чем нормальная скорость для данного участка дороги и мешающее нормальному движению. Одной из причин появления автомобильных пробок является незнание своего города и его трафика.

«Яндекс.Пробки» – веб-сервис компании «Яндекс», позволяющий узнать информацию о дорожных пробках. Сбор информации о пробках «Яндекс» осуществляет от своих партнеров, однако данные могут передавать и рядовые пользователи навигационных программ и мобильного приложения «Яндекс.Карты». В качестве дополнительного источника информации используются установленные на улицах города веб-камеры. Данные обрабатываются, объединяются. Строится средний балл пробок, показывающий степень загруженности магистралей. Полученная информация о пробках накладывается на карту города в виде красных, желтых и зеленых стрелок (соответственно: пробка, дорога относительно свободна и полностью свободна).

С помощью веб-сервиса «Яндекс.Пробки» был проведен временной анализ загруженности перекрестка проспекта Октября с улицей Республиканской, и произведен поиск вариантов улучшения пропускной способности перекрестка.

Анализ материалов позволяет сделать вывод о постоянной загруженности перекрестка в дневное время. Автомобильный транспорт движется через перекресток со скоростью, не превышающей 7-15 км/ч в утренние и дневные часы, 20-25 км/ч – в вечернее время, 50-60 км/ч – в ночное время. Возникновение пробок на данном участке во многом определяется большим числом припаркованных у обочин автомобилей. В зимний период «брошенные» на обочину автомобили затрудняют работу дорожным службам по уборке снега, что приводит к еще большему сужению проезжей части. Уменьшению скорости на данном участке способствуют неудобные въезды и выезды из дворов.

Для снижения загруженности перекрестка проспекта Октября и улицы Республиканской можно рекомендовать: строительство подземной многоуровневой парковки в прилегающем районе; строительство подземного или надземного пешеходного перехода; оптимизацию работы светофорных объектов; решение проблемы общественного транспорта.

## **НАНОТЕХНОЛОГИИ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

**П.А. Клыков**

Научный руководитель – В.М. Дудин, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

В настоящее время нанотехнологии используются во многих отраслях и сферах жизни. Сфера строительства не стала исключением.

Точного определения термину нанотехнология до сих пор нет. В строительстве под нанотехнологиями понимают использование нанодобавок и нанопримесей – объектов, частицы которого с линейным размером не более 100 нм.

С 2009 года в России используется модификатор асфальтобетона «Унирем». Он представляет собой активный резиновый порошок с крупностью частиц 5-50 мкм. В горячем битуме эти частицы распадаются на наноблоки, которые встраиваются в структуру асфальта. Модификатор добавляется в асфальтобетонную смесь на стадии смешивания минеральных составляющих асфальта, что не требует изменения технологических процессов на асфальтобетонных заводах. Добавление модификатора в асфальтобетон позволяет снизить температуры хрупкости, увеличить пластичность смеси, повысить срок службы асфальта на 30-50%, увеличить стойкость покрытия к образованию трещин и колеи.

Количество наномодификаторов для цементобетона несколько больше, нежели для асфальтобетона. В настоящее время наиболее активно используются фуллероиды – фуллереноподобные вещества. Такая добавка позволяет увеличить в 2-3 раза ударную прочность бетона. Фуллероиды при совместном их добавлении с пластифицирующими добавками весьма значительно увеличивает их свойства, что позволяет создавать более подвижные бетонные смеси, не увеличивая водоцементное отношение.

Добавление углеродных нанотрубок позволяет увеличить прочность цементобетона до 20% в проектном возрасте при дозировке всего лишь 0,05% от массы цемента.

«Капсуляция» – новое научное направление получения композиционных дисперсных материалов, развиваемое ОАО «Московский ИМЭТ». Московские ученые смогли получить дисперсный композиционный материал, представляющий собой частицы портландцемента, покрытые оболочкой другой природы, толщиной в несколько десятков нанометров. Такой подход к созданию наноцементов позволяет получать на их основе сверхпрочные бетоны класса 72,5-92,5, увеличить сроки хранения готового цемента и снизить удельные затраты топлива на выпуск тонны цемента.

## **САМОПОЯСНЯЮЩИЕ АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ**

**Д.В. Коровин, А.А. Игнатьев**

Научный руководитель – А.А. Игнатьев, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

В конце двадцатого века поднялся вопрос о безопасности на дорогах, в связи с участвовавшим числом дорожно-транспортных происшествий. Это обстоятельство заставило передовые страны обратить внимание на повышение безопасности движения. Безопасность движения зависит от ландшафта окружающей среды, а так же от дорожной разметки, линии обочин и от изменения цвета или материала на дороге. В зарубежной литературе появляется такой термин, как самопоясняющие автомобильные дороги (self-explaining and forgiving roads).

Зависимость безопасности криволинейного движения от большого числа факторов обуславливает необходимость уточнения не только норм минимальных радиусов, но и поиска комплексных решений, снижающих риск возникновения аварий. В идеале закономерности зрительно плавных трасс должны информировать водителей об изменении дорожных условий, а параметры плана, продольного и поперечного профиля дорог должны быть согласованы с проектируемыми режимами движения, это и называется самопоясняющие автомобильные дороги.

Основной принцип самопоясняющих автомобильных дорог, заключается во взаимодействии трех основных инфраструктур (водитель, дорога, окружающая среда).

Стандартное проектирование кривых, состоит в том, чтобы заранее показать водителю предупреждающий знак, о начале кривой или о снижении скорости движения.

Более 80% несчастных случаев связаны с ошибкой водителя. Водителю свойственно ошибаться, в том случае если он видит то, чего не ждал увидеть.

Особенно сложными считается те кривые, которые начинаются неожиданно после долгого прямого участка, скорее всего такой участок потребует дополнительной информации и предупреждающих сообщений для водителей.

На сегодняшний день самопоясняющие автомобильные дороги нашли большое применение в Европе и Соединённых Штатах Америки. К примеру, в некоторых европейских странах, таких как Португалия, количество ДТП со смертельным исходом снизилось с 208 до 80 человек, на миллион населения, а в Латвии этот показатель снизился с 255 до 115 человек. Статистика показывает что термин «Self-explaining and forgiving roads» в поисковой системе Google выдает более половины миллиона ссылок на веб-сайты.

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ  
КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬСТВА  
ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

**П.А. Куликов**

Научный руководитель – В.М. Дудин, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Строительство земляного полотна автомобильной дороги включает в себя: подготовительные, основные и вспомогательные работы. На каждом из этапов работ производится контроль качества строительства.

Наиболее ответственными и трудоемкими, на подготовительном этапе, считаются геодезические работы. Они традиционно выполняются с помощью нивелиров и теодолитов. Процесс съемки требует больших затрат труда. В то же время, исходя из важности геодезических работ, сокращение их объема не представляется возможным.

В настоящее время существуют прогрессивные системы, позволяющие значительно сократить время, затраченное на проведение геодезических измерений, а также повысить их точность - системы наземного лазерного сканирования (НЛС) и системы мобильного лазерного сканирования (МЛС).

Применяются НЛС и МЛС не только для выполнения геодезических работ, но и для повышения качества и производительности труда во время производственного контроля реконструируемых или строящихся объектов.

Особого внимания во время операционного контроля качества заслуживает оценка плотности и влажности грунта.

В соответствии с действующей в настоящее время в России нормативной документацией плотность и влажность грунта следует определять по ГОСТ 5180. Но для текущего контроля методы, описанные в ГОСТе, не совсем подходят с точки зрения их трудоёмкости и временных затрат. Операционный контроль не поспевает за строительством, и приходится ограничиваться небольшим количеством образцов, что сказывается на качестве производимых работ.

В связи с этим, для текущего контроля целесообразно использовать ускоренные и полевые экспресс-методы и приборы: прибор S-242 (TheSpeedy® MoistureTestingKit), в котором использована реакция хлористого кальция с водой; датчики влажности, измеряющие диэлектрическую проницаемость грунта; методы радиоизотопных измерений; различные плотномеры статического и динамического действия.

Современные методы и оборудование контроля качества позволят существенно повысить срок службы автомобильных дорог.

## ОКИСЛЕНИЕ АСФАЛЬТОБЕТОНА

**А.В. Огурцов**

Научный руководитель – В.М. Дудин, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Битум представляет собой сложную смесь углеводородов и их производных. В присутствии кислорода воздуха он вступает в химическую реакцию и окисляется. Скорость реакции во многом зависит от температуры, времени воздействия кислорода и наличия примесей. Проблема окисления битума оказывает критическое влияние на качество конечного продукта. Вследствие его соединения с кислородом воздуха значительно повышается твердость, что подтверждается снижением числа пенетрации. Под влиянием окислительных процессов битум демонстрирует признаки старения, а именно: становится менее пластичным, повышается его вязкость, уменьшается растяжимость. Это приводит к старению асфальтобетона и, соответственно, снижению срока службы дорожного покрытия.

Окисление битума происходит на следующих стадиях:

- в цистерне для хранения жидкого битума;
- во время смешивания в асфальтобетонном смесителе;
- в бункере для хранения асфальтобетонной смеси;
- в уложенном покрытии.

Конечно, окисление битума на дороге идет медленно, так как в плотных слоях покрытия он почти полностью защищен от воздействия кислорода и его температура относительно низка. Другое дело, изготовление асфальтобетонной смеси на АБЗ, ее хранение в бункере, перевозка в автосамосвале и укладка на дороге. В этих процессах и операциях действуют все три фактора, наиболее сильно влияющие на окисление, – высокая температура, время и доступ кислорода. И особенно существенным и пагубно влияющим в условиях высоких температур оказывается контакт битума с кислородом воздуха, больше всего понижающим показатели его пенетрации. Фактор времени тоже вносит свою «лепту» в ухудшение свойств битума и смеси. Если в свежей смеси после укладки в дорогу показатель пенетрации битума составляет, например, 55–60 единиц, то после пяти лет эксплуатации покрытия он может понизиться до 40–45, после десяти лет – до 25–30 и после 15 лет – до 10–15 единиц. Замедление процессов окисления битума позволит существенно увеличить срок службы асфальтобетонных покрытий.



## **ПРИМЕНЕНИЕ НЕТРАДИЦИОННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В МОСТОСТРОЕНИИ**

**Г.М. Ремизов, Ф.В. Биренбаум**

Научный руководитель – Ф.В. Биренбаум, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

В городах и на дорогах области не хватает десятков мостов. Кроме того, многие эксплуатируемые мосты срочно нуждаются в реконструкции (расширении, замене проезжей части, ремонте опор и т.д.), при минимальных затратах времени её проведения.

Изменить сложившуюся неблагоприятную ситуацию с проблемами дорог и мостов может помочь, в частности, массовое применение прочных долговечных, быстро монтируемых пролётных строений из новых строительных материалов. К ним в первую очередь можно отнести использование алюминиевых сплавов (что имеет место в мостостроении последние десятилетия) и применяемые, в отдельных случаях, в последние годы высокопрочные полимерные материалы, армированные волокном.

В настоящей работе приводятся примеры использования таких материалов, которые нашли свое применение и на дорогах нашей области. Даны описания и фотографии ряда таких сооружений, анализируются данные об их преимуществах и недостатках.

В качестве детали рассмотрен проект ремонта (усиления) железобетонных балок автодорожного путепровода над железнодорожными путями в створе улицы Нефтяников в городе Ярославле. В работе даны обоснования применения нетрадиционных материалов для производства ремонтных работ, основы технологии проведения таких работ, расчёты на прочность, сравнение с применением традиционных методов проведения ремонтных работ.

В работе показаны чертежи эксплуатируемого путепровода, фотографии дефектов мостового полотна, технология производства работ.

В работе рассмотрены также основные вопросы производства строительных работ, определены их стоимость и сроки производства. Отдельное внимание уделено вопросам техники безопасности и охраны природы.

## **ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ДОРОЖНОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

**Е.А. Ронжин, А.В. Симонова**

Научный руководитель – А.В. Симонова, преподаватель  
*Ярославский государственный технический университет*

Основной целью создания геоинформационных систем (ГИС) автомобильных дорог является создание единой модели автомобильных дорог для поддержки принятия решений на всех этапах жизненного цикла дороги от планирования развития и проектирования до строительства и эксплуатации. Единая модель необходима для устранения многократного дублирования работ на разных этапах жизненного цикла.

Данные геодезических изысканий и карты местности в составе ГИС дорог необходимый источник информации для контроля качества выполненных работ и контроля геометрических параметров дороги.

Целью работы систем моделирования транспортных потоков является определение нагрузки на дорожную сеть при заданных параметрах дорожной сети и спросом на перевозки.

Результаты транспортных расчётов используются для выбора структуры сети дорог: топологии, числа полос и расчётной прочности дорожной одежды.

Системы стратегического планирования транспортных инвестиций можно считать расширенными системами моделирования транспортных потоков, дополнительно прогнозирующими социально-экономический эффект от инвестиций в автомобильные дороги.

В базах дорожных данных собирается информация о состоянии дороги (ровность, прочность, сцепление, дефекты, обустройство). На основе видеосъёмки автомобильных дорог можно уточнять качественный состав объектов на дороге и состояние покрытия.

Информационно-эксплуатационные системы автомобильных дорог автоматизируют функции планирования, контроля выполнения и приёмки различных работ.

Проект организации дорожного движения является составной частью проекта автомобильной дороги, создаваемого для строительства, реконструкции, капитального ремонта дороги. Результаты дислокации являются источником информации для создания цифровых навигационных карт. Для контроля выполнения контрактов по содержанию дорог целесообразно применение спутниковых технологий.

При всем многообразии существующих ГИС, создание единой модели автомобильных дорог невозможно без интеграции программных систем и автоматизации процесса взаимного обмена данными.

## **КЛОТОИДНОЕ ТРАССИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ РАЗВЯЗОК**

**А.Н. Рязанов, А.А. Игнатьев**

Научный руководитель – А.А. Игнатьев, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Наряду с очевидными проблемами в вопросах проектирования и трассирования автомобильных дорог и городских улиц сегодня назрела еще более актуальная проблема, связанная с несовершенством и недостаточной освещенностью в современной нормативно-технической и методической литературе вопросов проектирования транспортных развязок. Этот недостаток оказывает серьезное влияние на качество выполняемых проектов в области проектирования транспортных развязок, что негативно отражается на безопасности и комфортабельности передвижения транспортных средств.

Из логического, метрического и функционального анализа геометрических и функциональных характеристик более чем 200 развязок России, Украины, Беларуси, Америки, Австралии, Японии, ЮАР, Канады, Англии, Франции, Италии, Германии, Величко Г.В. сделал выводы, относящиеся преимущественно к проблемным левоповоротным петлям различных вариаций «клеверного листа» и других типов пересечений и примыканий в одном и в разных уровнях.

Многообразие форм и очертаний этих элементов на удачных зарубежных развязках, по мнению Величко Г.В., показало не столько о стремлении проектировщиков и строителей «вписаться» в существующие ограничения, сколько о поиске рациональных траекторий, обеспечивающих минимальное время маневра и максимальное удобство и безопасность движения в местах разветвления и слияния транспортных потоков.

Ключевыми параметрами для достижения высокого качества этих развязок являются отнюдь не радиусы съездов, как следует из действующих норм, а длина и форма съездов. Следует отметить, что применяемые за рубежом радиусы съездов в ряде случаев гораздо меньше, а длины участков траекторий для движения с переменной скоростью, как правило, криволинейны и, наоборот, гораздо длиннее, чем в странах СНГ.

Анализ отечественных аналогов свидетельствует и о явно малом прорабатываемом количестве вариантов при поиске рациональной формы и сочетаний геометрических элементов, а также о формальном следовании требованиям норм.

Таким образом, необходимость пересмотра норм проектирования транспортных развязок, является ключевой задачей развития дорог в РФ.

## **ВАНТОВЫЕ МОСТОВЫЕ СООРУЖЕНИЯ**

**Н.В. Щелкачёв, Ф.В. Биренбаум**

Научный руководитель – Ф.В. Биренбаум, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

За последние десятилетия во всём мире, в том числе России, при пересечении широких водных пространств и глубоких оврагов большое распространение получили мостовые сооружения вантовых конструкций, прежде всего для движения автотранспорта и пешеходов.

Вантовые мосты – разновидность висячих, но в то же время они значительно отличаются от последних. В их конструкции применяется тот же принцип использования тросов, переносящих нагрузку с мостового полотна на высокие мачты опоры, однако, в отличие от неразрезных тросов висячих мостов, тросы вантовых, поддерживая мостовое полотно, веером расходятся от мачты. Вантовые мосты не требуют анкерного крепления так как их конструкция уже нагружена. Это делает мосты подобного типа незаменимыми в тех случаях когда установка анкерного крепления невозможна.

В качестве детали рассмотрен проект второго пешеходного моста на остров Даманский в устье реки Которосль. Даны обоснования его сооружения, определены створ, схема моста и основные детали его конструкций (опоры, пилон, балка жесткости, ванты и т.д.) Произведено технико-экономическое сравнение. Оценены архитектурные достоинства сооружения.

В настоящей работе приводятся примеры из ряда наиболее значительных сооружений подобного типа с описанием и фотографиями, а также подробные чертежи конструкций нового моста. Анализируются данные о преимуществах и недостатках таких конструкций, оценена также возможность применения вантовых конструкций при ремонте и усилении существующих мостовых сооружений.

В работе рассмотрены так же основные вопросы производства строительных работ, определены стоимость и сроки строительства. Отдельное внимание уделено вопросам техники безопасности и охраны природы.

## **СЕПАРАТОРЫ НЕФТЕПРОДУКТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД**

**М.В. Смыслов, А.В. Симонова**

Научный руководитель – А.В. Симонова, преподаватель  
*Ярославский государственный технический университет*

При эксплуатации автозаправочных станций (АЗС), автомоек и стоянок автотранспорта возникают проблемы, связанные с очисткой воды от нефтепродуктов. Данный вид загрязнений оказывает негативное влияние на окружающую среду, а также портит внешний вид территории. Помочь в этой ситуации может установка систем очистки воды – сепаратора нефтепродуктов. Сепараторы нефтепродуктов предназначены для очистки поверхностных (дождевых) сточных вод, загрязненных нефтепродуктами, плотностью от 750 до 950 кг/м<sup>3</sup> при температуре стоков выше +4 °С, с концентрацией загрязнений до 0,5% при самотечном режиме поступления стоков. Обычно это сточные воды от автомоек, а также дождевые стоки с территорий АЗС, автостоянок, промышленных площадок или других, загрязненных маслами, поверхностей. Жидкость, поступающая в сепаратор, последовательно проходит все секции, в результате чего достигается степень очистки воды от нефтепродуктов и взвешенных частиц до концентрации не более 10 мг/л.

Сепаратор нефтепродуктов подбирается в зависимости от типа обслуживаемой территории; объема потока воды; условий эксплуатации; геологии объекта. Подбор номинала сепаратора в России выполняют в соответствии с требованиями: СНиП 2.04.03-85 «Канализация. Наружные сети и сооружения»; СН 496-77 «Временная инструкция по проектированию сооружений для очистки поверхностных сточных вод»; ВСН 01-89 «Предприятия по обслуживанию автомобилей»; СНиП 2.01.01-82 «Строительная климатология и геофизика»; СНиП 2.04.01-85 «Внутренний водопровод и канализация зданий».

Сепараторы нефтепродуктов производятся из армированного бетона, полиэтилена высокой плотности или чугуна. Основные преимущества железобетонных сепараторов: возможность эксплуатации в зонах с высоким уровнем грунтовых вод; простота обслуживания; возможность эксплуатации в зонах с высокой нагрузкой; возможность заглубления до 5,5 м по лотку трубы; герметичный корпус, предотвращающий попадание нефтепродуктов в окружающую среду; отсутствие необходимости замены элементов; различные варианты решения очистных сооружений.

Основные преимущества полиэтиленовых сепараторов: малый вес – экономия на транспортировке и монтаже; выгодная цена; высокие характеристики по очистке; простота эксплуатации и обслуживания.

## **ДРЕНИРУЮЩИЙ АСФАЛЬТОБЕТОН**

**С.Н. Черпицкий**

Научный руководитель – В.М. Дудин, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

Дренирующий асфальтобетон это пористый материал, применяемый в качестве покрытия автомобильных дорог поверх плотного асфальтобетона и обеспечивающий быстрый отвод воды с поверхности дороги. В США этот материал получил название *opengradedfrictioncourse* (OGFC).

Используется для строительства, ремонта и капитального ремонта дорожных асфальтобетонных покрытий, а также для устройства и ремонта слоев проезжей части мостов и путепроводов.

Покрытия из дренирующего асфальтобетона используются для увеличения безопасности на дорогах, но они обладают и рядом других преимуществ. Высокая пористость обеспечивает водопроницаемость, что способствует улучшению видимости и более безопасному движению (исключается аквапланирование автомобилей).

При пористости 17 - 22 % и толщине слоя 40 - 50 мм пористый асфальтобетон обеспечивает дренирование воды во время сильного дождя и движение ее внутри пористого слоя.

Подбор смеси производится таким образом, чтобы в уплотненном материале имелаась система сообщающихся пор, по которым вода с поверхности дороги удаляется намного быстрее, чем при покрытии из плотных смесей.

В США проблемы с долговечностью дренирующих асфальтобетонов уже на протяжении многих лет успешно решаются за счет применения резино-битумных вяжущих.

Наилучшие показатели предлагаемой асфальтобетонной смеси наблюдались при введении резиновой крошки в пределах от 0,6 до 0,9% от массы минерального материала и вторичного линейного полиэтилена низкой плотности в пределах от 0,2 до 0,3%.

Производство и укладка дренирующих асфальтобетонных смесей не имеет существенных отличий от производства и укладки обычных смесей.

Стоимость одной тонны пористого асфальтобетона несколько выше плотного, однако, часть его стоимости возмещается тем, что пористый асфальтобетон, имея меньшую объемную массу, при равной массе и равной толщине слоя будет покрывать большую площадь.

Активное применение дренирующего асфальтобетона ведётся и в других странах, среди которых можно отметить Японию, Великобританию, Францию, Нидерланды, Германию.

## ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

**И.С. Тынянский, А.А. Игнатьев**

Научный руководитель – А.А. Игнатьев, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

Сегодня в мировом строительстве нашли широкое применение геосинтетические материалы. Что это такое? Почему материалы данной категории уже успели завоевать большую популярность в зарубежных странах, таких как США, Германия, Китай? Для чего они применяются? Несут ли они что то эффективное в процесс строительства и являются ли рациональным решением инженерных задач?

Для ответа на эти вопросы, необходимо разобраться какими функциями обладают геосинтетики, и в чем их преимущество по отношению с традиционными материалами. Проанализировав отечественный и преимущественно зарубежный опыт можно выделить пять основных функций по применению геосинтетических материалов: 1) разделение, 2) укрепление, 3) фильтрация, 4) дренаж, 5) сдерживание (жидкости и/или газа).

Какие цели преследуются в процессе внедрения данных материалов? Можно выделить экономическую выгоду, достигаемую различными путями (изначально меньшая стоимость, либо выгода, получаемая в процессе эксплуатации) и гарантированная эффективность применения.

Прибегнув к истории, можно заявить, что человечество давно стремилось изменить почвенные характеристики путем добавления материалов, которые улучшали бы ее физико-механические свойства. Без сомнения, такие эксперименты совершались задолго до первых хронологических записей этого процесса. Кажется разумным предположить, что первый опыт был получен при попытках стабилизировать болота и болотистые почвы, используя стволы дерева, маленькие кустарники, и т.п. А в наше время, когда ведется активное освоение земель, когда ведется строительство в трудных условиях, необходимо внедрять инновационные методы строительства.

На синтетические материалы возлагают большие надежды, проводятся все новые исследования и испытания, публикуется большое количество рекомендаций по применению не только в России, но и за рубежом.

Актуальной задачей в вопросах проектирования, реконструкции и строительства автомобильных дорог сегодня является проведение дальнейших исследований в области применения синтетических материалов. При этом нельзя забывать и о многоэтапном контроле качества, начиная от производства и заканчивая укладкой непосредственно на строительных площадках, что благоприятно скажется в дальнейшем на качестве выполняемых работ.

## **К ВОПРОСУ О РЕГУЛИРОВАНИИ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ В ДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ**

**Е.М. Веселкина, А.А. Игнатьев**

Научный руководитель – А.А. Игнатьев, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Нормативно-технические документы – это официальные документы, устанавливающие правила, общие принципы и характеристики, касающиеся определенных видов деятельности или их результатов (государственные стандарты, стандарты предприятия, технические условия, технические описания, строительные нормы и правила, нормативы, рецептура и т.д.).

Типы технической документации: паспорта, руководства, инструкции, техническая литература, СНИПы, ГОСТы и СанПиНы.

Современное проектирование улиц и дорог в РФ сталкивается с определёнными трудностями, связанными с устаревшей классификацией автомобильных дорог и экологических требований, установленных главным нормативным документом - Строительными нормами и правилами РФ (СП 34.13330-2012).

Только за последнее десятилетие произошли существенные изменения в количественном и качественном развитии автотранспорта и систем технического обеспечения дорог, в технологии и материалах дорожных покрытий. Российские автодороги входят в сеть международных трасс.

В условиях развития международного сотрудничества и углубления производственной кооперации формированию международных транспортных коридоров центральной задачей является решение проблем развития транспорта, связанных с расширением межгосударственных транспортно-экономических, культурных и других связей, с целесообразностью создания международной транспортной инфраструктуры, имеющей согласованные технические параметры и обеспечивающие применение совместных технологий перевозок, как основы интеграции национальных транспортных систем в мировую транспортную систему.

Достижение высокой эффективности системы управления дорожным хозяйством является необходимым условием обеспечения эффективного функционирования сети международных автомобильных дорог СНГ и повышения безопасности дорожного движения.

В рамках интеграционного комитета Республики Беларусь, Республики Казахстан, Кыргызской Республики, Российской Федерации было подписано соглашение о формировании Транспортного союза, что является положительным моментом для развития дорожной отрасли в РФ.



## **ПРИМЕНЕНИЕ ШЛАКОВ В ОСНОВАНИИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ**

**Ю.Е. Заломаева, А.А. Игнатьев**

Научный руководитель – А.А. Игнатьев, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Слово «шлак» часто звучит в речи человека. Врачи понимают под этим словом вещества, которые являются продуктами неполного переваривания пищи, а мы, строители, используем данный термин, подразумевая, что шлак - это стекловидное или камневидное вещество, используемое в качестве вторичного сырья в дорожном строительстве.

История использования шлаков тянется еще с 1589 г., когда в Германии из него отливали пушечные ядра. С течением времени люди все больше и больше убеждались, что шлак является ценным продуктом. За всю историю развития шлаковых материалов было разработано множество нормативных документов и создано огромное количество организаций в различных странах и континентах. Так, например, в Москве в 1933 г. была создана Всесоюзная контора по шлакопереработке, во Франции - Техническая ассоциация по изучению и использованию доменных шлаков, в Англии - Британская ассоциация шлака, в Канаде - Национальная шлаковая ассоциация. И это еще не весь список. Все эти ассоциации на данный момент не перестают стремиться улучшить сцепные и прочностные характеристики шлака.

Шлаки черной металлургии являются крупным резервом пополнения дорожно-строительных материалов. Как показывают исследования, шлаки в зависимости от физико-механических характеристик целесообразно использовать в качестве заполнителя или вяжущих при строительстве оснований дорожных одежд из обработанных и необработанных вяжущими каменных материалов. Применение шлаковых материалов позволяет существенно улучшить качество оснований и расширить номенклатуру материалов, применяемых в том или ином слое дорожной одежды.

Достаточно прочные основания автомобильных дорог получают из смеси слабых известняков и щебня из активного шлака. Щебень из мартеновских шлаков с успехом используют для заклинки дорожного основания, изготовленного из гранитного щебня.

Одним наиболее важным в современном мире показателем является то, что применение металлургических шлаков снижает стоимость строительства дорожных одежд на 14–15% по сравнению с равнопрочными конструкциями из гранитных материалов, что несет в себе большой потенциал для дальнейшего применения шлаков в основании дорожной одежды.

## ШУМОЗАЩИТНЫЕ ЭКРАНЫ

**Я.Е. Земсков**

Научный руководитель – А.А. Игнатъев, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

В связи с быстро растущим количеством автомобилей, проблема защиты от автотранспортного шума становится все более актуальной. Считается, что в городах до 60-80% шума создает движение автотранспортных средств.

Уменьшение шума можно достигнуть путем строительства объезда населенных пунктов, регулированием состава и интенсивности автотранспортного потока, соблюдением скоростного режима, применением прогрессивных видов шумопоглощающих покрытий и др. Однако полное соблюдение этих мер часто оказывается невозможным. В этих случаях для защиты придорожных объектов от шума приходится использовать специальные градостроительные приемы борьбы с шумом на путях его распространения.

Наиболее эффективными средствами борьбы с шумом в населённых пунктах являются: рациональная планировка и застройка проектируемой территории, предусматривающая прокладку транзитных и грузовых магистралей за пределами жилой зоны и мест отдыха; организация необходимых территориальных разрывов между источниками внешних шумов (автотрассой и др.) и зонами, нормируемыми по шуму; шумозащитное озеленение; использование рельефа местности в качестве естественных природных экранов (выемки, насыпи, овраги и т.п.); строительство шумозащитных зданий-экранов; строительство искусственных стенок-экранов из железобетона, стали, алюминия, пластмасс и др.; строительство шумозащищенных зданий.

Один из новых методов борьбы с транспортным шумом является разработка карты шума. В 2006 г. в Санкт-Петербурге впервые за всю историю города была проведена такая работа по разработке карты шума и зонирования территории по фактору шума с учетом всех существующих источников. В ходе работы была собрана, систематизирована и обобщена информация в области защиты населения от шума. Изучен отечественный и зарубежный опыт и определены основные черты стратегий разных стран в области снижения шума.

Для нас наибольший интерес сегодня представляет изучение технических характеристик шумозащитных экранов, наиболее выгодные способы их проектирования и использование на территории Ярославской области.

## **РЕКОНСТРУКЦИЯ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ - СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ Г. МЫШКИН**

**Р.Б. Юлдашев, А.И. Ахременко**

Научный руководитель - А.И. Ахременко, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Реконструируемые очистные сооружения располагаются в г. Мышкин Мышкинского муниципального округа. Размещение технологического оборудования, необходимого для проведения процессов очистки питьевых вод предусмотрено в существующих емкостном оборудовании и производственных корпусах.

Речная вода с р. Волга станцией первого подъема забирается из донного водозаборного сооружения и подается на комплекс очистных сооружений. Расход регулируется таким образом, чтобы обеспечить на выходе с очистных сооружений по мере необходимости проектную производительность в 135 м<sup>3</sup>/час с учетом собственных нужд системы очистки.

Поступление сточных вод на очистные сооружения происходит по существующему напорному коллектору.

Проектом предусмотрены следующие решения:

- реагентная обработка воды, поступающей с водозабора коагулянтами и флокулянтами с дозой, определяемой в зависимости от показаний датчика мутности воды на входе в очистные сооружения;
- предварительное осветление воды перед механической фильтрацией с контролем мутности воды на выходе и автоматическим сбросом накопившегося осадка;
- предварительная механическая очистка на самопромывных дисковых фильтрах с тонкостью фильтрации 50 мкм;
- очистка воды на системе ультрафильтрации с контролем параметров очистки;
- внедрение системы обеззараживания на базе установки Аквахлор;
- внедрение системы контроля параметров очистки (мутности, pH, остаточного хлора);
- внедрение системы удаления и обезвоживания осадка на ленточном фильтрпрессе.

Территория очистных сооружений ограждается сплошным сетчатым забором, имеющим высоту 2,1 м.

Для проезда на территорию очистных сооружений предусматриваются автомобильные въезды, оборудованные воротами.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ДРЕНАЖНЫХ ТРУБ РАЗЛИЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ**

**П.Ю. Ядрихинский, И.Б. Долженко**

Научный руководитель – И.Б. Долженко, канд. биол. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Осушение переувлажнённых земель связано со строительством закрытого дренажа, который отводит из корнеобитаемого слоя почвы избыточную влагу. Эффективность работы дренажа во многом зависит от конструкции дренажных труб и защитных фильтров.

В этой связи нами в лабораторных условиях изучалась водоприёмная способность керамических и полиэтиленовых гофрированных труб с защитой их от заиливания армированным стеклохолстом (ст-холст) и нетканым иглопробивным полотном (ип-полотно). Внутренний диаметр керамических труб (КТ-2,0) составлял 50 мм, площадь перфорации – 9,4 см<sup>2</sup>/м и щель в стыках – 2,0 мм. Полиэтиленовые трубы ПТ-1,4 и ПТ-3,0 имели соответственно диаметр водоприёмных отверстий 1,4 и 3,0 мм, удельную площадь перфорации – 9,0 и 15,3 см<sup>2</sup>/м, а внутренний диаметр – 43 мм.

Водоприёмную способность дренажей определяли в насыщенном водой грунте с коэффициентом фильтрации 0,8 м/сут. Во время опытов напор воды над дренажной трубой был постоянным и составлял 0,3 м.

Проведенные исследования показали, что полиэтиленовые трубы ПТ-1,4 и ПТ-3,0 оказались более эффективными по сравнению с трубой КТ-2,0. И связано это не только с общей площадью перфорации, но и с равномерным распределением водоприёмных отверстий по длине и периметру полиэтиленовых труб. Поэтому они имеют более низкое гидравлическое сопротивление по сравнению с керамическими дренажами, у которых водоприёмные щели находятся на расстоянии 33,3 см друг от друга. Из испытанных защитных фильтров более эффективными были ст-холст, который практически не уплотняется в грунтах и в меньшей степени подвержен кольматации по сравнению с ип-полотном. Однако во всех случаях со временем водоприёмная способность дренажей снижается из-за кольматации фильтров частицами грунта.

## **БЫТОВЫЕ ФИЛЬТРЫ ОЧИСТКИ ВОДЫ: ПОЛЬЗА ИЛИ ВРЕД?**

**А.В. Сова, Ю.В. Бричанчук**

Научный руководитель – Н.Н. Клочко, ассистент  
*Ярославский государственный технический университет*

Вода многих источников пресной воды непригодна для питья людьми, так как может служить источником распространения болезней или вызывать долгосрочные проблемы со здоровьем, если она не отвечает определённым стандартам качества воды. Вода, которая не вредит здоровью человека и отвечает требованиям действующих стандартов, называется питьевой водой. В случае необходимости, чтобы вода соответствовала санитарно-эпидемиологическим нормам, её «подготавливают» на станциях водоподготовки.

Любая станция, водоподготовки представляет собой совокупность различных установок. На одном из первых этапах водоподготовки производится фильтрование воды. Сами фильтры представляют собой совокупность сеток с разной пропускной способностью, с уменьшением величины ячеек по направлению движения воды. После фильтрования вода проходит еще несколько стадий улучшения качества.

Однако в настоящее время потребители стараются дополнительно очистить водопроводную воду от вредных примесей и, тем самым, улучшить ее качество, приобретая для этого бытовые фильтры (устройства для очистки воды от механических, нерастворимых частиц, примесей, хлора и его производных, а также от вирусов, бактерий, тяжелых металлов и т. д.). Домашние, или бытовые, фильтры не отличаются высокой пропускной способностью, однако на них с каждым годом возрастает спрос. Существует огромное количество фильтров (как проточных, так и накопительных), различной ценовой категории.

Были проведены исследования фильтров разных ценовых категорий и разных торговых марок. Исследования проводились по нескольким параметрам, таким как цена, пропускная способность, параметры очистки, заявленные производителем, а так же степень очистки воды от примесей. Исследования показали, что, несмотря на большую пропускную способность проточных трехступенчатых фильтров, большим спросом у потребителей пользуются накопительные фильтры. Данные фильтры очищают воду только по одному параметру, но, по мнению потребителей, гораздо удобнее. Таким образом, трехступенчатые фильтры являются более дорогими, но более эффективными, так как очищают воду по трем параметрам – это грубая очистка от взвешенных частиц, очистка от примесей хлора, солей, металлов, а также корректирует вкус воды, что является немаловажным при выборе фильтра потребителем.

## **ГАБИОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ В ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

**П.О. Смирнова, И.Б. Долженко**

Научный руководитель – И.Б. Долженко, канд. биол. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

В мировой практике гидротехнического строительства габионные конструкции находят все более широкое применение. Габион (от итал. gabbione — большая клетка) представляет собой каркас из металлической сетки, заполненный щебнем, галькой или камнями. Габионные покрытия используют для укрепления откосов насыпей и выемок, берегов водотоков, водоотводных и дорожно-мостовых сооружений. При защите русел рек от размыва берега выстилаются габионными матрацами Рено, которые имеют толщину 0,17-0,30 м, ширину - 2,0 м и длину от 3 до 6 м. Габионные конструкции обеспечивают надежную и качественную защиту береговой линии рек и водохранилищ от размыва и является более дешевым по сравнению с железобетоном.

Габионы обладают гибкостью, поэтому им можно придать практически любую форму, а при осадке и давлении грунта они могут незначительно изгибаться, не теряя своих свойств. Надежность, долговечность и простота установки габионных конструкций делают их незаменимыми в гидротехническом строительстве. Габионы хорошо пропускают воду, сквозь них могут прорасти растения, оживляя их, делая частью природного ландшафта. При этом ни вода, ни корни растений не влияют на прочность и целостность конструкции. Металлическая сетка габионов изготавливается из нержавеющей проволоки, поэтому каркас имеет высокую антикоррозийную устойчивость. Габионы – экологически чистый продукт, не оказывающий отрицательных воздействий на окружающую среду. В отличие от бетонных конструкций габионные покрытия не нуждаются в ремонте, не требуют устройства специального основания и фундамента.

При укреплении берегов рыбохозяйственных водоемов габионами в зоне их установки со временем увеличивается численность рыб, так как габионные сооружения способствуют развитию макро- и микробиоты, которая необходима для жизнедеятельности ихтиофауны.

В заключении отметим, что габионные сооружения являются долговечными. Экологически безопасными и экономически эффективными, поэтому габионные конструкции в настоящее время широко востребованы в гидротехническом строительстве.

## ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЯРОСЛАВСКОЙ ОБЛАСТИ

**В.Е. Смирнов, А.И. Ахременко**

Научный руководитель – А.И. Ахременко, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

По официальным данным доля подземных вод в общем хозяйственно-питьевом водопотреблении нашей области в настоящее время составляет примерно 20%. Хотя и сейчас уже обеспечение отдельных районов (например, г. Данилова) основано в основном на использовании подземных вод. В качестве источников водоснабжения при этом используются водоносные горизонты, содержащие пресные подземные воды, залегающие в четвертичных, юрских и нижнетриасовых отложениях, представленных в основном песчаными и песчано-гравийно-галечными породами.

Благоприятные в целом гидрогеологические условия, подразумевающие наличие необходимых эксплуатационных запасов подземных вод, сравнительно небольшую глубину залегания (до 200 м для пресных вод), их достаточно хорошее качество, надежную защиту от загрязнения (особенно артезианских вод) и др. определяет перспективность дальнейшего расширения водоснабжения за счет использования подземных вод.

В области широко развиты и используются минеральные подземные воды лечебно-столового назначения и рассолы, которые применяются в лечебных учреждениях, а также на заводах (цехах) для розлива. Лечебно-столовые воды приурочены к триасовым и пермским отложениям с минерализацией до 2,3-16,6 г/л, залегают на глубине до 200-300 м.

Рассолы могут служить источником извлечения ценных химических элементов (например, брома и др.).

Кроме того, территория Ярославской области обладает богатым запасом геотермальных ресурсов подземных вод с температурой до 700<sup>0</sup>С. Запасы наших термальных вод практически неисчерпаемы, т.к. после отдачи тепла она вновь закачивается в пласт, где снова нагревается до первоначальной температуры.

Теоретические расчеты показали, что суммарные прогнозные ресурсы геотермальной энергии по среднедевонскому и средне-кембрийско-ордовикскому водоносным комплексам составляют 12-15 млрд. тонн условного топлива.

Следует учитывать, что подземные воды чувствительны к техногенному воздействию. Качество подземных вод отражается на состоянии других компонентов геологической среды (горных пород и геологических процессов). Поэтому разумное и бережное отношение к ним является одной из важнейших задач.

## **ОСОБЕННОСТИ УСТАНОВЛЕНИЯ ГРАНИЦ САНИТАРНО-ЗАЩИТНЫХ ЗОН ПРОМЫШЛЕННЫХ УЗЛОВ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ (МОДЕРНИЗАЦИИ) ПРОИЗВОДСТВА**

**Е.А. Шитикова**

Научный руководитель – М.А. Фоменко, канд. геогр. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Право граждан на охрану здоровья и благоприятную окружающую среду закреплено в Конституции РФ (ст. 42). В последние десятилетия в РФ, в соответствии с провозглашенным курсом на повышение качества жизни, актуализируются вопросы обеспечения санитарно-эпидемиологической безопасности населения. Наибольшую актуальность этот вопрос приобретает в сфере снижения рисков здоровья населения при развитии промышленности в городах. Крайне остро эта проблема стоит в старых промышленных городах, где площадки для размещения предприятий в свое время выбирались без учета экологических факторов, а жилье для работников старались располагать поближе к производству.

Эффективным инструментом решения проблемы наряду с расселением жителей из экологических опасных районов является принятие обоснованных решений по тщательному размещению промышленных объектов с тем, чтобы создаваемые ими загрязнения не оказывали значимого негативного влияния на расположенные вблизи селитебные территории и не создавали неприемлемых экологических рисков для здоровья.

С целью реализации задачи снижения экологических рисков для здоровья населения при реконструкции нефтеперерабатывающего завода, расположенного на старой промышленной площадке нами были проработаны 3 варианта размещения новых объектов.

Используя метод крупномасштабного планирования для моделирования генплана, а также расчетный метод для определения величины фактора химического загрязнения атмосферного воздуха и оценки риска здоровья населения, был выбран оптимальный вариант размещения новых объектов. Оценка выполнялась по экологическому (воздействие на прилегающие жилые территории) и экономическому (затраты на инфраструктуру, логистика и др.) факторам. Выбранный вариант позволяет обеспечить приемлемый уровень риска здоровья населения и минимизировать затраты на строительство и эксплуатацию.

Такого рода проработки представляют собой эффективный механизм принятия планировочных решений по реконструируемому предприятию, который уже на начальной стадии проектирования позволяет обеспечить санитарно-эпидемиологическую безопасность населения.



## МАЛЫЕ РЕКИ ЯРОСЛАВСКОГО ПОВОЛЖЬЯ

Т.А. Секарева

Научный руководитель – А.И. Ахременко, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

Реки – главный источник водоснабжения. Чем больше город, тем больше ему нужно воды, поэтому крупные города почти всегда располагаются вблизи рек. Однако основная часть населения нашей планеты живет не в городах, а в небольших населенных пунктах, а они, как правило, располагаются на берегах малых рек.

В Ярославской области протекает 4327 рек и их общая протяженность составляет 19340 км. У нас имеются сотни длинных, но маловодных, пересыхающих летом и перемерзающих зимой рек и множество небольших непересыхающих водотоков (ручьев), начало которым дают мощные родники. Отличить ручей от малой реки практически невозможно и в гидрологической науке разницы между ними не делают.

Средняя ширина речных долин наших малых рек 370 м. Однако отклонения от нормы очень велики: от нескольких десятков метров, как у реки Носы в верховье, до 2-3 км, как у рек Сары или Устье.

Средний коэффициент извилистости рек Ярославской области 1,68. Он многое значит в характеристике реки. С его увеличением уменьшается падение реки, уклон, а следовательно, снижаются скорости течения воды, на реках появляются "мертвые зоны", река в таких местах зарастает осокой, камышом, рдестом, ряской, вода "зацветает".

На берегах малых рек нашей области находится более 6000 населенных пунктов, множество животноводческих ферм, более 2900 сельскохозяйственных организаций, в том числе 256 производственных кооперативов.

Малые реки, являющиеся носителями гидрохимических особенностей ландшафтных водосборов (местного стока) различных природных зон, – это лицо ландшафтов, типов местностей.

Главная опасность для малых рек заключается не в прямом физическом истощении водных ресурсов, а в их загрязнении, в нехватке чистой воды. В загрязнении природных вод виноваты все отрасли народного хозяйства: промышленность, транспорт и сельское хозяйство.

Качественное состояние водных масс малых рек Ярославской области внушает серьезное беспокойство. Дальнейшее бездействие в деле охраны природных вод может вывести всю речную сеть области из равновесного состояния и сделать воду непригодной как для обитания водных животных, так и водопотребления.

## **ПОЛЬДЕРНЫЕ СИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ**

**В.В. Самсонников**

Научный руководитель – Г.А. Фоменко, д-р геогр. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Факт глобальной разбалансировки климата уже не вызывает сомнений. Данные метеорологических наблюдений свидетельствуют о том, что за последние 100 лет средняя температура поверхности Земли выросла на 0,74 °С, причем темпы ее роста постепенно увеличиваются; аналогичная динамика и в России. Особенно остро изменения климата сказываются на гидросфере. Для водохозяйственных систем наиболее существенно постепенное увеличение зимних осадков и резкое наступление весеннего половодья. В результате возникает риск затопления и подтопления земель. Нельзя не сказать и об увеличении частоты и продолжительности штормов в морях и на водохранилищах. Особенно возрастают риски воздействия климатических изменений на польдеры. Для предотвращения угрозы затоплений приходится затрачивать дополнительные средства, пересматривать само использование польдерных систем, а иногда отказываться от их эксплуатации.

Целью исследования стало изучение влияния изменяющейся среды на эксплуатацию польдерных систем, а также рассмотрение возможных вариантов уменьшения негативного воздействия. В мире польдеры широко распространены. Основные сосредоточены главным образом в Нидерландах, Дании, Германии, Польше, Литве, Латвии, США, Австралии и островах юго-восточной Азии. В процессе исследований были рассмотрены различные виды польдеров, также более детально проанализировано состояние польдерных земель в Калининградской области. Основополагающими факторами, вызывающими изменения польдерных систем следует назвать влияние климата и характера социально-экономического развития. В результате выполненного SWOT-анализа влияния этих факторов было установлено, что наиболее неблагоприятный вариант развития возникает в случае сочетания нарастания социально – экономических проблем с быстрым изменением климата. В этом случае экологические и экономические риски значительно усиливают друг друга, ставя под угрозу само существования польдерных систем. Исследования позволили также сделать вывод, что при проектировании польдерных систем и разработке предложений по их эксплуатации в условиях изменения климата необходимо проводить комплексный анализ воздействия экологических и социально-экономических факторов и предусматривать меры по снижению возросших рисков.

## **БЕРЕГОУКРЕПЛЕНИЕ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В ЧЕРТЕ Г. МЫШКИН ЯРОСЛАВСКОЙ ОБЛАСТИ**

**И.А. Радионов, А.И. Ахременко**

Научный руководитель – А.И. Ахременко, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

В рамках строительства планируется берегоукрепительное сооружение протяженностью 2100 м.п. Строительство данного берегоукрепления решает комплексную задачу: прекращение деформации берега не только от влияния Рыбинского водохранилища, но и от эрозионного воздействия местного склонового стока, атмосферных осадков, хозяйственной деятельности и т.д., а также благоустройство центральной части г. Мышкин путем строительства набережной. Отметка верха берегоукрепительной конструкции (шпунт и "мокрый" откос из габионных конструкций) 105,10 м БС. Для обслуживания берегоукрепительного сооружения запроектирован эксплуатационный подъезд на отметке переменной 103,30 - 105,75 м БС. Прогулочная дорожка максимально вписана в существующий рельеф местности и располагается на отметках 115,75 - 112,25 м БС. Покрытие выполнено из искусственных мелкогабаритных камней. Прогулочная дорожка оборудована линией наружного электроосвещения.

Работы по строительству шпунтовой стенки, каменного банкета, анкерных тяг необходимо начинать не ранее 15 июня, после окончания нерестового периода, а заканчивать 15 ноября. На объекте принят поточный метод производства СМР. Согласно данного метода определена очередность выполнения основных объемов работ:

- устройство шпунтовой стенки;
- погружение анкерных свай;
- устройство анкерных тяг;
- устройство каменного банкета;
- водоотлив с закрытой территории.

Работы второго этапа выполняются после окончания первого этапа в любое время года в зависимости от погодных условий. По их окончанию осуществляются работы заключительного этапа и вывоз строительного мусора.

## **ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА АКУСТИЧЕСКУЮ СРЕДУ ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ (НА ПРИМЕРЕ ДЗЕРЖИНСКОГО РАЙОНА ГОРОДА ЯРОСЛАВЛЬ)**

**Н.И. Пикулина, А.Е. Бородкин**

Научный руководитель – Г.А. Фоменко, д-р геогр. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

В последнее время в городах России происходит постоянное увеличение количества автотранспорта. По данным российских экспертов, опасному воздействию высоких уровней шума подвергаются более 30 % жителей российских городов. Такая ситуация наблюдается и в зарубежных городах. По данным Всемирной Организации Здравоохранения (2013 г.) каждый год, шум дорожного движения, в крупных городах Западной Европы становится причиной потери как минимум 1 миллиона лет здоровой жизни; поэтому измерение соответствующих рисков здоровью людей от этих факторов и предложение эффективных мер защиты как никогда актуально.

Наши исследования были нацелены на изучение воздействия автотранспортных потоков на окружающую городскую среду с дальнейшим определением гигиенически значимых участков района для реализации первостепенных шумозащитных мероприятий. Для достижения поставленной цели выполнен пространственный анализ оценки акустической нагрузки, используя инструменты санитарной акустики и геоинформационных технологий. Исследование выполнено в 2013-2014 гг. Натурные исследования и акустические расчеты выполнены в сентябре в часы пик (утро – 8<sup>00</sup>-9<sup>00</sup>, день – 14<sup>00</sup>-15<sup>00</sup>, вечер – 17<sup>00</sup>-18<sup>00</sup>). Результаты исследования показывают, что максимальные уровни акустической нагрузки в жилой зоне колеблются в пределах 73-75 дБА, что превышает допустимый уровень на 20 дБА. Гигиенически значимыми рецепторами являются Ленинградский пр-т 76/26 (ТРК Альтаир), ТРК РИО, пр-т Дзержинского 37. Высокую шумовую эмиссию в данных рецепторах создает транспорт на Ленинградском пр-те (район ост. пр-т Дзержинского), пр-те Дзержинского 37, ТРК РИО в утреннее, дневное и вечернее время, а также дневное влияние Промышленного шоссе (район ТД Дикон). Максимальный уровень шума от данных источников составляет 79 дБА, интенсивность движения – 3282 авт./час.

Полученные результаты позволили определить значимые участки дорог – генераторов шума и приоритетные дома Дзержинского района, для которых необходима первоочередная активная шумозащита и в дальнейшем, выполнение исследований по оценке риска здоровью населения для обоснования их эффективности.

## ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ ЯРОСЛАВСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ

**А.А. Корнев, Н.А. Мухин**

Научный руководитель - Н.А. Мухин, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

На главной водной артерии р. Волга на территории Ярославской области находятся 3 водохранилища комплексного назначения (Угличское, Рыбинское и Горьковское), с двумя крупными гидроузлами - Угличским и Рыбинским.

Угличское водохранилище при нормальном подпорном уровне (НПУ) имеет площадь зеркала  $249 \text{ км}^2$ , длину 146 км, ширину 0,5 - 1,0 км (наибольшая до 5 км), максимальная глубина 23,2 м, средняя - 5 м, объем воды -  $1,245 \text{ км}^3$ . Протяженность береговой линии 883 км. Гидроузел расположен у г. Углич в 2833 км от устья реки Волга и состоит из двух плотин - земляной и железобетонной, здания ГЭС и судоходного шлюза (однокамерного в одну нитку). Земляная плотина перекрывает русло Волги. Железобетонная плотина 2-х ярусная.

Нормальный подпорный уровень - 113,0 м, при этом полный объем водохранилища -  $1,245 \text{ км}^3$ , форсированный подпорный уровень - 113,4 м, уровень мертвого объема - 109,0 м, полезный объем - 674 млн  $\text{м}^3$ , минимальная навигационная отметка - 111,0 м. Нормальный уровень нижнего бьефа - 102,0 м БС (максимальный - 108,3 м БС, а минимальный - 97,10 м БС).

Полезный объем Угличского водохранилища составляет около 6,2 % от естественного среднего многолетнего годового объема стока р. Волга в створе Угличского гидроузла ( $13,6 \text{ км}^3$ ), что позволяет осуществлять суточное, недельное и ограниченное сезонное регулирование стока реки. Производственная мощность Угличской ГЭС - 110 МВт, количество агрегатов - 2. Рыбинское водохранилище образовано затоплением междуречья рек Волга и Шексна. Наибольшая длина водохранилища в озеровидной его части 136 км, ширина 70 км, средняя глубина 5,6 м. Полный объем водохранилища -  $25,4 \text{ км}^3$ , полезный -  $14,4 \text{ км}^3$  (при отметке сработки 98,0 м абс.).

Водохранилище рассчитано на годичное регулирование стока. Отметка НПУ – 102 м БС, УМО – 97,1 м БС.

Бассейн р. Волги от истока до Рыбинского водохранилища асимметричен: площадь левобережья почти в 3 раза больше правобережной части. Площадь водохранилища –  $4550 \text{ км}^2$ , длина по руслу р. Волга – 112 км, по руслу р. Молога – 198 км, по руслу р. Шексна – 204 км.

## **ПОДТОПЛЕНИЕ НА ТЕРРИТОРИИ ЯРОСЛАВСКОЙ ОБЛАСТИ**

**В.А. Халаки**

Научный руководитель – А.И. Ахременко, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Подтопление – повышение уровня грунтовых вод, нарушающее нормальное использование территории, строительство и эксплуатацию расположенных на ней объектов.

Подтопление развито на прибрежных территориях, а также в пределах крупных неотектонических опусканий и зависит от уровня режима Угличского, Рыбинского и Горьковского водохранилищ; озер Неро и Плещеево, а также от количества выпавших атмосферных осадков. Этому способствует и начавшееся в 1972-1975 гг. общее для Русской платформы поднятие уровней подземных вод и повышение уровня Каспийского моря. С другой стороны, повышение уровней весенних паводков на Нижней Волге требуют удержания внешних вод в Горьковском, Рыбинском и Угличском водохранилищах, что вызывает подъем уровня грунтовых вод и подтопление территорий в прибрежной зоне.

По исследованиям прошлых лет, проводившихся различными организациями, из общей площади правобережной части г. Ярославля, составляющей 98 км<sup>2</sup>, около 88 % (86 км<sup>2</sup>) подтоплено. Из общей части подтопленной территории города 21 км<sup>2</sup> относится к зоне сильного подтопления.

В 2012 году в условиях относительно спокойной гидрометеорологической обстановки катастрофического подтопления на территории Ярославской области не наблюдалось. Из наблюдаемых филиалом «Ярославльгеомониторинг» территорий, сохраняется режим подтопления на Рыбинском участке. Глубина залегания уровня грунтовых вод в течение 2012 года колебалась от +0,6 до 9,05 м, причем по многим скважинам уровень устанавливался на глубине менее 3 м от поверхности земли, что является показателем подтопления территории. Этому способствовало повышенное относительно нормы стояние уровня Рыбинского водохранилища большую часть 2012 года.

Чтобы стабилизировать негативные процессы, необходимо применять инженерно-технические и организационные мероприятия, такие как защита территорий, прилегающих к водохранилищам от подтопления, мелиоративные мероприятия, включая дамбы и дренаж, а также вводить запреты и ограничения на заселение и строительство в опасных по подтоплению участках.

## КАЧЕСТВО ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ЯРОСЛАВСКОЙ ОБЛАСТИ

**С.А. Грошева, Н.А. Мухин**

Научный руководитель – Н.А. Мухин, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Мониторинг поверхностных вод на территории Ярославской области проводился на 15 водных объектах, в 22 пунктах, 27 створах гидрохимических наблюдений по 35 ингредиентам и показателям.

Оценка качества воды проводилась:

- с учетом принятых Минздравом России стандартов - предельно допустимых концентраций (ПДК).
- по удельному комбинаторному индексу загрязненности воды (УКИЗВ).

УКИЗВ - относительный комплексный показатель степени загрязненности поверхностных вод. Он условно оценивает, в виде безразмерного числа, долю загрязняющего эффекта, обусловленную одновременным присутствием ряда загрязняющих веществ, в среднем одним из учтенных при расчете комбинаторного индекса ингредиентов и показателей качества воды.

### Классификация качества воды водотоков по значению УКИЗВ

Класс и разряд	Характеристика состояния загрязненности воды	Удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ)
1	Условно чистая	1
2	Слабо загрязненная	1-2
3	Загрязненная	2-4
3 разряд (а)	Загрязненная	2-3
3 разряд (б)	Очень загрязненная	3-4
4	Грязная	4-11
4 разряд (а)	Грязная	4-6
4 разряд (б)	Грязная	6-8
4 разряд (в)	Очень грязная	8-10
4 разряд (г)	Очень грязная	8-11
5	Экстремально грязная	11 и более

На постах сети наблюдений ФГБУ «Ярославский ЦГМС» случаев экстремально высокого и высокого загрязнения поверхностных вод на территории Ярославской области не зафиксировано.

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА БАЗЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА GPS-X**

**Г.С. Фатеев, Е.А. Михайлов**

Научный руководитель – Е.А. Михайлов, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Время диктует необходимость ускоренной разработки проектов нового строительства и/или реконструкции сооружений водоотведения. В условиях практически устаревших норм СНиП (2.04.03-85) и отсутствия «Технологического регламента» требуется справляться с достаточно сложными задачами: соответствие используемых технологий очистки и оборудования лучшим мировым стандартам с повышенной эффективностью и/или КПД.

Предложен метод оптимизации и ускоренной разработки проектно-технологических и конструкторских решений на базе использования современных средств математического моделирования.

Программный комплекс GPS-X 6.3 (Hydromantis, Inc., Канада) позволяет формировать любую схему очистки сточных вод с обработкой осадков на базе математических модулей сооружений (механической, биологической, физико-химической очистки и обеззараживания). Это реализует для практики (новое строительство и реконструкция) возможность абсолютно точного учета баланса масс в сложных условиях реальной неравномерности поступления исходной технологической нагрузки по расходам и концентрациям загрязнений.

В ходе расчетов имеется возможность моделирования и оптимизации системы управления. При динамическом моделировании управления воздухом возможно обосновать экономию электроэнергии при внедрении управляемых воздуходувок. Моделирование сбраживания осадка позволяет наиболее точно предсказывать степень распада и получения биогаза.

Математическое моделирование выполняется в несколько этапов:

Построение и настройка модели очистных сооружений при существующем технологическом режиме работы;

На основании настроенной модели оценивается применимость различных технологических схем удаления биогенных элементов для существующих объемов, качества поступающей воды и конструктивных особенностей.

Результат математического моделирования - выбор оптимальной технологической схемы очистки сточных вод до требуемых норм по органическим загрязнениям (ХПК, БПК), по биогенным элементам (формы азота, фосфора и т. д.).



## **ПЕРЕРАБОТКА БЕРЕГОВ ВОДОХРАНИЛИЩ ЯРОСЛАВСКОЙ ОБЛАСТИ**

**Е.А. Елисеева**

Научный руководитель – А.И. Ахременко, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Под переработкой берегов водохранилищ понимают разрушение слагающих берег пород и их последующий смыв в воду под влиянием волноприбойной деятельности, колебания уровня воды и других факторов, формирующих береговую линию. Негативные экономические последствия этого явления связаны с разрушениями ценных, наиболее освоенных прибрежных территорий с большой плотностью экономических объектов. Особенно активно данный процесс протекает в первые годы существования искусственных водоемов. Так, за первые 10-12 лет после создания Рыбинского водохранилища, его береговая линия в отдельных местах отступила на 50м и более. Еще быстрее разрушалась береговая линия Цимлянского водохранилища. Со временем интенсивность переработки берегов затухает и береговая линия со временем стабилизируется.

На берегах водохранилищ в пределах Ярославской области сохраняется тенденция к стабилизации процессов переработки берегов с отдельными проявлениями активизации. Берега в той или иной степени подвержены переработке, 30 % из них – на уровне среднесуточных значений по интенсивности и выше, остальные – ниже среднесуточных, то есть находятся в стадии стабилизации процесса.

Разрушение береговой линии прибоем (абразия), в основном, связано с Угличским и Рыбинским водохранилищами. На Горьковском водохранилище и на значительном протяжении верхнего бьефа Рыбинского водохранилища формирование берегов происходит под воздействием сложных комплексов гравитационно-абразионного и гравитационно-эрозионного типов экзогенных геологических процессов. Как правило, абразия, боковая эрозия сопровождаются обрушением склонов, осыпанием, блоковым смещением или оплыванием грунтов, на некоторых участках - образованием оползней.

Основным способом защиты берегов является строительство берегоукрепительных сооружений. Сегодня в мировой практике используется несколько сотен методов и способов берегоукрепления и они не всегда требуют больших материальных затрат. Обоснованное решение должно базироваться на прогнозе берегопереработки. Методы прогнозов берегопереработки постоянно совершенствуются, учитывая максимально возможное количество факторов влияния. В настоящее время их насчитывается около сорока.

**ОРГАНИЗАЦИЯ ЗОН САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ  
ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТЬЕВОГО  
И ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ  
КАК ТЕРРИТОРИЙ ОСОБОГО РЕЖИМА  
ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА**

**Е.Н. Арсентьева, С.А. Афанасьева**

Научный руководитель – Г.А. Фоменко, д-р геогр. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Актуальность проблемы организации зон санитарной охраны (ЗСО) поверхностных источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, как территорий особого режима природообустройства в последние годы существенно возросла. Это связано с вступлением в действие Водного кодекса РФ; согласно которому (глава 5) установление таких зон стало обязательным (Собрание законодательства Российской Федерации, 2006, № 23, ст. 2381). Однако, подзаконные методические документы носят весьма общий характер, а ряд их положений противоречивы. Этим обусловлена актуальность не только выполнения на практике пилотного проекта, но и выполнение соответствующих прикладных исследований.

Таким пилотным проектом стала организация зон санитарной охраны поверхностного источника питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения ОАО «Славнефть-ЯНОС», которая была успешно выполнена в 2013 году АНО НИПИ «Кадастр» при участии кафедры «Гидротехнического и дорожного строительства» ЯГТУ. Было получено положительное заключение Роспотребнадзора по Ярославской области. Пилотная работа позволила выявить ряд проблем, требующих дополнительного исследования и организационно-правового обоснования. Так оказалась вне правового поля проблема согласований интересов водопользователей на территории санитарно-защитной зоны в рамках единого проекта. Только включение Администрации Ярославской области позволила решить ряд вопросов, связанных с территориальной координацией интересов водопользователей.

В методическом плане (что наиболее существенно) выявилась потребность в разработке научно-обоснованной модели организации природообустройства таких территорий. Анализ зарубежного и отечественного опыта показал, что основным элементом таких моделей следует назвать геоинформационные системы (ГИС) и тематические карты. Первые такие карты были выполнены в составе данного проекта и показали свою актуальность. В дальнейшем их легенды будут уточнены; также будут подготовлены методические материалы по их составлению.

**БАЗА ДАННЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ  
СООРУЖЕНИЙ – ОСНОВА БЕЗОПАСНОСТИ ВОДНЫХ  
ОБЪЕКТОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**А.В. Максимович, Г.И. Касперов**

Научный руководитель – Г.И. Касперов, канд. техн. наук, доцент  
*Белорусский государственный технологический университет*

Актуальной на сегодняшний день проблемой является оценка безопасности гидротехнических сооружений (ГТС) на водохранилищах Республики Беларусь при их проектировании и прогноз долговечности существующих сооружений. Эту проблему очень сложно решать традиционными статистическими и аналитическими способами. Представляется целесообразной попытка решить эту проблему, используя богатый опыт эксплуатации ГТС. Положив в основу созданной базы данных (БД) информацию об имевшихся инцидентах при эксплуатации ГТС, а также используя корреляционные основы и методы экстренной интерполяции, получены определенные результаты. Достоверность этих результатов достаточна, поскольку они основываются на практическом опыте строительства и эксплуатации ГТС не только в Беларуси и странах СНГ, но и в странах дальнего зарубежья.

Достаточно большой объем информации о техническом состоянии ГТС должен быть зафиксирован, проанализирован и сохранен таким образом, чтобы указанная информация была легкодоступна для обработки и оперативного использования. Имея в наличии БД по объектам, а также информацию о сроке службы, авариях, отказах и пр. для одних сооружений, можно с определенной степенью предсказывать поведение других, аналогичных. Естественно, что ценность такой БД, тем выше, чем большее количество информации она содержит. Необходимым условием создания БД являлась возможность ее пополнения. В БД также содержатся графические сведения, определяющие схемы основных сооружений гидротехнического назначения: границы территорий ГТС и искусственных водных объектов в целом; компоновка гидроузлов; изобаты; разрезы по зонам.

Электронная база ГТС водохранилищ Республики Беларусь используется органами управления для принятия решений по защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций и оценки ущербов от них.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЯ НА ТРАНСВЕРСАЛЬНО ИЗОТРОПНЫХ ГРУНТАХ**

**Ш.М. Аглиев, С.А. Тумаков**

Научный руководитель – С.А. Тумаков, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

В работе было произведено исследование напряженно-деформированного состояния конструкций кирпичного жилого 9-ти этажного дома в городе Новосибирске по ул. Добролюбова. В процессе работы было выполнено проектирование здания, выполнен сбор нагрузок, произведен статистический расчет сооружения и конструирование фундаментной плиты здания на изотропном грунтовом основании и на основании в случае учета анизотропии, сравнение и анализ результатов расчета.

В работе анизотропное основание в комплексе SCAD моделировалось приведенным коэффициентом постели, размер которого установлен на основании связи модулей деформации по формуле перемещений Буссинеска упругого полупространства для изотропной среды и перемещений упругого полупространства для анизотропной среды по уравнению Лехницкого-Портаева.

Реальные грунтовые условия строительной площадки в основании фундаментной плиты характеризуются деформационными показателями  $E_z = 11$  МПа;  $E_t = 5,5$  МПа;  $\nu_{tt} = 0,16$ ;  $\nu_{tz} = 0,24$ ; начальный приведенный коэффициент постели  $K = 4,29$  МПа.

Для начала рассчитывалась модель в SCAD с приложенным к ней первоначальным коэффициентом упругого основания. После расчета получалась картина распределения коэффициентов постели, на основании которой проводился цикл итераций. Рассчитывалась плита с полученными в КРОССе параметрами, на основании которых получались новые коэффициенты постели, которые путем введения поправочного коэффициента для учета анизотропии прикладывались к плите.

В процессе выполнения работы установлено, что при учете анизотропности грунтового основания увеличивается средняя осадка фундаментной плиты в 1,35 раза. Установлено, что эта разница близка к разнице по перемещению упругого полупространства в случае изотропного грунта и в случае учета анизотропии грунта – 1,37 раза. Установлено что для обеспечения расчетных положений и обеспечения необходимой надежности сооружения армирование фундаментной плиты, которая проектируется на анизотропных грунтах, увеличивается, а соответственно происходит и удорожание конструкции на 16 465 рублей.

## **СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В СЛОЖНЫХ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЯХ**

**Т.М. Мартьянова, С.А. Тумаков**

Научный руководитель – С.А. Тумаков, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Сложными условиями при строительстве автомобильной дороги являются: строительство на болотах, переувлажненных, глинистых и других грунтах, обладающих незначительной несущей способностью, высокой сжимаемостью, и относящихся к категории слабых грунтов, а так же строительство дорог при промерзании грунта и в районах подвижных песков.

Конструкция земляного полотна на слабых основаниях, её выбор зависит от типа слабого основания, наличия вида грунта и его мощности, относимых к слабым, высоты насыпи, типа дорожной одежды, сроков её устройства.

В случаях, когда расчётами устойчивости и осадки (или иными обстоятельствами) обосновывается необходимость полного или частичного удаления слабых грунтов перед сооружением насыпи, нижнюю часть насыпи ниже уровня дневной поверхности слабого основания на 0,2-0,5 м следует предусматривать из дренирующих или крупнообломочных грунтов. Применение других грунтов должно быть обосновано расчётами.

Частичное удаление слабых грунтов основания с заменой их дренирующими включает также конструктивные решения с использованием дренажных прорезей. Их глубина, ширина и расстояние между ними в плане устанавливается расчётами устойчивости и осадки.

При проектировании земляного полотна в песчаных пустынях наиболее сложной задачей является обеспечение незаносимости дороги песком. Решению этой задачи следует уделять основное внимание на всех этапах проектирования дороги. Наиболее успешно решить задачу борьбы с пескозанами можно на стадии выбора направления трассы и проложения ее на местности. Для этого необходимо знание особенностей природных условий песчаных пустынь и правильный их учет.

На участках прогнозируемых наледей в районах распространения вечномерзлых грунтов и глубокого сезонного промерзания земляное полотно должно быть запроектировано так, чтобы глубина промерзания основания насыпи не превышала промерзания грунтовой толщи в естественных условиях, с учётом температурного режима толщи грунтов и их физико-механических свойств, определяющих величину осадки основания насыпи при оттаивании в период эксплуатации.

## **КРОВЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ KALZIP**

**А.А. Корнилова, Н.А. Жеребцова, А.Г. Путинцев**

Научный руководитель – А.Г. Путинцев, ст. преподаватель

*Ярославский государственный технический университет*

Kalzip – это досконально разработанные multifункциональные строительные системы для кровель и фасадов. Они предлагают как множество вариантов экономичных, отработанных в практике строительства стандартных решений, так и инновационные комплексные программы для создания ультрасовременных оболочек зданий и сооружений.

Благодаря широким возможностям конструкции, свойству алюминиевого профилированного листа принимать различную конфигурацию и привлекательному дизайну системы Kalzip позволяют архитекторам реализовать самые амбициозные замыслы.

Разнообразны виды поставляемых форм – конических, выпуклых или вогнуто-скругленных. Алюминиевые кровельные и фасадные системы Kalzip могут быть с разнообразной отделкой поверхностей и в богатой цветовой гамме. Стандартное исполнение профилированных листов Kalzip производится с обработкой поверхности тиснением и с защитной лакировкой с обеих сторон.

Для соединения профилированных листов Kalzip с несущей конструкцией используются специальные клипы-опоры из алюминия, которые вводятся в отбортованный край, фиксируются там и накрываются следующим элементом. Крепления располагаются под кровельным покрытием. Кровля сохраняет целостность.

Алюминиевые профилированные листы Kalzip предназначены для изготовления как «теплых», так и «холодных» кровель различных конфигураций с уклонами, начиная от 1,5° и более, при любых типах опорных и несущих конструкций. При проектировании конструкции кровли прежде всего принимается во внимание, для какого типа здания она предназначена. При этом учитываются снеговые, ветровые и другие нагрузки. Конструкция кровли позволяет легко выполнить высокие требования, предъявляемые к тепловой защите здания.

Алюминиевые профилированные листы Kalzip в каких бы условиях они не эксплуатировались, в прибрежных морских районах, в сельской местности или индустриальном районе, имеют надежную защиту от коррозии благодаря образованию естественного оксидного слоя. Этот эффект еще более усиливается, если листы имеют защитное лакирование.

Конструкции кровель, выполненные с помощью систем Kalzip, сочетают прекрасную защиту от внешних воздействий и долговечность в эксплуатации с высокими прочностными характеристиками и сравнительно малыми затратами на материал.

## **КОНСТРУКЦИИ ПОКРЫТИЯ БОЛЬШОЙ ЛЕДОВОЙ АРЕНЫ**

**Н.А. Жеребцова, А.А. Корнилова, А.Г. Путинцев**

Научный руководитель – А.Г. Путинцев, ст. преподаватель  
*Ярославский государственный технический университет*

Большая ледовая арена — уникальное сооружение, относящееся к первой категории сложности.

Впервые олимпийский ледовый дворец для хоккея выполнен в виде сложного купола с большими пролетами: основная металлическая ферма имеет длину пролета 100 м. Купол арены – это надежная броня, защищающая олимпийский лед от лучей палящего южного солнца и влажного морского воздуха.

Монтаж каркаса – сложнейший объем работ, который проводился в два этапа. На первом, стартовавшем в августе 2010 года, в центральной части арены на высоте более 40 метров было смонтировано 17 самых крупных ферм, полностью перекрывших пространство над основным хоккейным полем. За пять месяцев смонтировано 1,5 тысячи тонн металлоконструкций.

Ко второму этапу работ строители приступили в январе. К июню 2011 года смонтированы металлоконструкции покрытия вестибюлей, состоящие из 68 стальных полуарок, которые из-за своей необычной формы получили название «саблевидных ферм».

Труд ведущих российских архитекторов, проектировщиков, инженеров, конструкторов, технологов оценен по достоинству. «Большой» признан одним из восьми самых интересных и важных архитектурных сооружений страны.

Авторы придали хоккейному стадиону форму гигантской капли из стекла и бетона. В его облике нет ничего избыточного, но за внешней простотой стоят сложные инженерные решения и уникальные конструкции, собранные вручную.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИЗГИБАЕМЫХ ДЕРЕВЯННЫХ БАЛОК С ТРЕЩИНОЙ

**В.О. Ракитина, К.А. Кузнецова, Л.И. Булгакова**

Научный руководитель Л.И. Булгакова, канд. техн. наук, доцент

*Вологодский государственный университет*

В действующей нормативной литературе отсутствует рекомендации по учету размеров и местоположения трещин по сечению и по длине балок при определении несущей способности. Расчетно-теоретическое исследование проведено по методу составных стержней (МСС) и методу конечных элементов (МКЭ). При исследовании в качестве изгибаемой конструкции была принята деревянная балка с размерами: пролет 1,46 м; сечение – 60×150, при соотношении  $h/l=1/10$  с различной длиной трещины. Отношение длины трещины к длине балки  $c/l$  составило соответственно 0,12; 0,23; 0,35; 0,46; 0,58. Из сравнительного анализа по МСС видно, что на участке от 0 до 0,15l наибольшие нормальные напряжения возникают в середине пролета, от 0,15l до 0,46l – напряжения в зоне вершины трещины постоянно увеличиваются, от 0,36l до 0,5l – напряжения в зоне вершины трещины изменяются незначительно. По МКЭ видно, что максимальные растягивающие напряжения возникают на нижней грани балки в зоне перед вершиной трещины. В вершине трещины напряжения снижаются по отношению к максимальным в 1,05.. 1,16 раза. При развитии трещины на участке 0..,0,1l наибольшие нормальные напряжения возникают в середине пролета. При развитии трещины до 0,5l повышается опасность напряжений в зоне вершины. Причем при длине трещины 0,1...0,36l напряжения в зоне трещины постоянно увеличиваются, а в середине пролета практически стабилизируются. При развитии трещины вдоль пролета наибольшие касательные напряжения возникают в вершине трещины. При длине трещины 0...0,35l наблюдается увеличение напряжений, а далее – их снижение. При увеличении значений отношения  $c/l$ , разрушение балки будет происходить от нормальных напряжений при любой длине трещины. В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы: 1. Максимальные нормальные напряжения возникают в нижней ветви балки непосредственно перед вершиной трещины. Наибольшие нормальные и касательные напряжения возникают при относительной длине трещины  $c/l=0,36$ . 2. Разрушение балки должно происходить главным образом от нормальных напряжений. При значениях соотношения  $c/l=0...0,17$  – в середине пролета, а при значениях  $c/l$  более 0,17 – в зоне вершины трещины. 3. С помощью полученных аппроксимирующих зависимостей при известной относительной длине трещины можно прогнозировать изменение напряженного состояния изгибаемых элементов деревянных конструкций.



# МОНИТОРИНГ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ОПАЛУБКИ

**А.В. Киряткова, Л.А. Комина, Н.В. Михалевич**

Научный руководитель – Н.В. Михалевич, канд. техн. наук, доцент

*Вологодский государственный университет*

Актуальной проблемой является выбор способов бетонирования, который зависит от характера и степени массивности конструкций, определяемой модулем поверхности, равным отношению охлаждаемой поверхности к ее объему, а также от температуры наружного воздуха, вида цемента и сроков работ.

Для изготовления монолитных конструкций возможно использование конструктивных решений опалубки при различной толщине и сочетании материала. Выполняя сравнительный анализ, использовали следующие материалы опалубки: древесина; древесина и пенопласт плиточный; древесина, пенопласт плиточный и рубероид; древесина, минераловатная плита и рубероид; древесина, минераловатная плита и фанера. Толщину древесины принимали от 20-40мм, у пенопласта плиточного от 60-100мм, у фанеры от 4-12мм, у минераловатной плиты от 60-100мм.

Максимальная мощность, кВт/м<sup>2</sup>, требуемая для разогрева 1 м<sup>3</sup> бетона, кВт, определяется по формуле  $P_1 = (600\Delta t + KM_n(t_{cp} - t_{н.в.}))/864$ , где  $M_n$  - модуль поверхности охлаждения;  $t_{н.в.}$  - температура наружного воздуха.

Из данной формулы видна зависимость расхода энергии от материала и конструкции опалубки.

В данной работе был выполнен расчет коэффициентов теплопередачи для различных видов конструктивных решений опалубки при нулевой скорости ветра по формуле:  $K = 1/(1/\alpha_n + (\sum \delta_i / \lambda_i))$ , где  $\alpha_n$  – коэффициент теплопередачи у наружной поверхности ограждения;  $\delta_i$  - толщина каждого слоя ограждения, м;  $\lambda_i$  - коэффициент теплопроводности материала каждого слоя ограждения, Вт/(м<sup>2</sup>·°C).

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. Использование утолщенной доски повышает стоимость опалубки практически в 2 раза с повышением коэффициента теплопередачи на 20-25%;
2. Применение пенопласта дает повышение коэффициента теплопередачи опалубки от 1,5 до 2 раз в зависимости от толщины. При удорожании опалубки от 15 до 30%;
3. Наиболее эффективной по коэффициенту теплопроводности является опалубка из древесины и плитного пенопласта, введение в конструкцию фанеры дает понижение коэффициента теплопроводности порядка 5-10%, при этом увеличение стоимости идет на 10-20%;
4. Использование доски толщиной 40мм для изготовления опалубки наиболее эффективно.

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТАЛЬНОЙ БАЛКИ СОСТАВНОГО СЕЧЕНИЯ ПО ЕВРОКОДУ EN-3**

**К.А. Орлова, М.С. Суслов, И.С. Казакова**

Научный руководитель – И.С. Казакова, канд. техн. наук, доцент  
*Вологодский государственный университет*

В настоящее время в России практически полностью прекращено бюджетное финансирование экспериментально-теоретических работ, направленных на развитие и актуализацию национальной системы нормирования, в то время как европейское общество добилось серьезного приоритета в этой области. Поэтому назревает уже не просто интерес к европейскому нормированию, а потребность гармонизировать наши нормы с Еврокодами и перейти к применению их в наших проектно-строительных работах. Гармонизация и взаимоувязка российских и европейских технических норм в строительстве – это вопрос не только привлечения иностранных компаний и технологий, но и иностранных инвестиций.

Главной проблемой гармонизации является невозможность директивного перехода на европейские стандарты, так как необходимо учитывать национальные особенности РФ: сейсмические, геофизические, природно-климатические, социальные, опасные геологические процессы и т.д. По этим причинам европейские нормы необходимо внедрять постепенно и комплексно, строго учитывая специфику РФ.

В данной работе проведен сравнительный анализ расчета стальной двутавровой балки составного сечения на действие изгибающего момента по Еврокоду EN-3 и СП 16.13330.2011 «Стальные конструкции». Рассматривалась разрезная балка общественного здания пролетом 12м. Размеры сечения балки: стенка 750х8мм, полки 250х25мм. Была принята сталь с пределом текучести 245 МПа.

При расчете по Еврокоду EN-3 пластический момент сопротивления сечения балки определялся по формулам, учитывающим геометрические размеры балки и коэффициент, зависящий от предела текучести материала балки. По СП 16.13330.2011 этот же параметр определяется через упругий момент сопротивления сечения балки, умноженный на коэффициент, учитывающий пластическую работу материала и зависящий от отношения площади полки к площади стенки. Пластические моменты сопротивления сечения балки получились различными: пластический момент сопротивления сечения балки по EN-3 получился больше на 13,7%.

В результате, было установлено, что несущая способность балки, рассчитанная по Еврокоду EN-3, примерно на 7,4% больше, чем несущая способность балки, вычисленная по СП 16.13330.2011, что обусловлено различной методикой расчета в этих нормативных документах.

## **РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ**

**Н.Н. Сеницын, И.О. Белодорова, К.А. Шушкова**

Научный руководитель – Н.Н. Сеницын, д-р техн. наук, профессор  
*Череповецкий государственный университет*

Объектом энергетического обследования является муниципальное бюджетное образовательное учреждение «Детский сад комбинированного вида №1».

На сегодняшний день здание не соответствует современным требованиям энергосбережения.

В результате расчета установлено, что приведенные (фактические) сопротивления теплопередаче всех ограждающих конструкций здания не удовлетворяют ни санитарно-гигиеническим и комфортным требованиям, ни требованиям энергоэффективности.

Для повышения уровня тепловой защиты здания необходимо проведение мероприятий по увеличению приведенного термического сопротивления ограждающих конструкций, а именно: утепление наружных стен и кровли, замена окон на энергоэффективные.

В ходе энергетического обследования и выявления дефектов ограждающих конструкций здания целесообразно предложить мероприятие, направленное на утепление ограждающих конструкций здания (наружных стен, кровли, чердачных перекрытий). Наружные ограждающие конструкции здания, построенного в 1972 году, не отвечают требованиям действующих СНиП и СанПиН в отношении санитарно-гигиенических, комфортных условий и условий энергосбережения.

Предлагаем утепление наружных ограждающих конструкций (наружных стен) здания плитами из пенополистирола по системе «мокрый фасад» и утепление кровли однослойной системой утепления.

В качестве утеплителя наружных стен приняты плиты из пенополистирола ПСБ-С-25Ф толщиной 50 мм, коэффициент теплопроводности 0,039 Вт/м·°С, в качестве утеплителя кровли приняты плиты минераловатные П-175 толщиной 100 мм, коэффициент теплопроводности 0,041 Вт/м·°С.

Экономия тепловой энергии на отопление здания в год составит:

- 1) от утепления наружных стен – 99,12 Гкал;
- 2) от утепления кровли – 143,8 Гкал.

Суммарная экономия тепловой энергии от утепления здания составит 242,92 Гкал в год.

Окупаемость предлагаемого мероприятия составляет 6,85 года.

## **ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ ДЛЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

**Р.М. Гаджиев**

Научный руководитель – В.А. Якущенко, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Частотное регулирование скорости вращения вала асинхронного двигателя осуществляется с помощью электронного устройства, которое принято называть частотным преобразователем или Преобразователь Частоты (ПЧ).

Частотно-регулируемый привод (ЧРП) представляет собой систему для управления скоростью вращения электрического двигателя переменного тока, контролируя частоту электроэнергии, подаваемой на двигатель.

Применение частотного регулирования приводов позволяет существенно уменьшить эксплуатационные затраты, связанные с обслуживанием агрегатов и систем. Например, снижение перепада давления между всасывающим и напорным патрубками насосного агрегата увеличивает срок службы сальниковых уплотнителей, практически исключает гидроудары и обеспечивает стабильность давлений в трубопроводах сетей, а также минимизирует затраты на их обслуживание. Считается, что:

- 60-65% от энергосистемы, используется для питания нагрузок движущей силой около 75% из которых в свою очередь, переменным крутящим моментом вентиляторов, насосов и компрессоров нагрузки.
- Только около 3% всех электродвигателей переменного тока оснащены приводами переменного тока.
- 18% энергии, используемой в 40 млн двигателей, можно было бы спасти путем эффективного использования электрической энергии.

Применение частотно-регулируемого электропривода обеспечивает:

- 1) изменение скорости вращения в ранее нерегулируемых технологических процессах;
- 2) синхронное управление несколькими электродвигателями от одного преобразователя частоты;
- 3) замену приводов постоянного тока, позволяющую снизить расходы, связанные с эксплуатацией;
- 4) создание замкнутых систем асинхронного электропривода с возможностью точного поддержания заданных технологических параметров;
- 5) возможность исключения механических систем регулирования скорости вращения (вариаторов, ременных передач);
- 6) повышение надёжности и долговечности работы оборудования;
- 7) большую точность регулирования скорости движения, оптимальные параметры качества регулирования скорости в составе механизмов, работающих с постоянным моментом нагрузки.

## **СУХИЕ СИЛОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ**

**Н.С. Воронин**

Научный руководитель – В.А. Якущенко, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

За последние 40 лет вместо масляных трансформаторов более широко стали применять сухие силовые трансформаторы, они являются современным пожаро- и экологически безопасным типом трансформаторов.

Сухие трансформаторы не требуют постоянного технического обслуживания, в связи с этим уменьшаются эксплуатационные расходы, а также они имеют большой ряд преимуществ по сравнению с масляными.

За тридцатилетний период времени удалось значительно повысить характеристики мощности и напряжения сухих трансформаторов, в следствии чего налажился их серийный выпуск.

Повышение качества силовых трансформаторов, использование прогрессивной технологии, экономия материалов и достижение как можно более низких потерь энергии – это важнейшие задачи изготовления современных сухих трансформаторов.

Благодаря ряду преимуществ сухих трансформаторов, несмотря на то, что их стоимость превышает в несколько раз стоимость масляных трансформаторов, они имеют широкое применение среди систем распределения электроэнергии.

В настоящее время используют два типа технологий производства сухих трансформаторов: вакуумная и безвакуумная. Вакуумная технология производства позволяет исключить из состава изоляции различные примеси и газовые микрополости, которые отрицательно влияют на срок службы трансформатора, а безвакуумная технология в свою очередь исключает опасность возникновения трещин в обмотках и гарантирует долгий срок эксплуатации трансформаторов.

Таким образом сравнительная оценка привела к тому, что обе технологии изготовления трансформаторов являются практически равноценны, но безвакуумная по некоторым параметрам может превосходить вакуумную.

## **НАСОС ДЛЯ ФЛОТАТОРА ДВУХСТУПЕНЧАТЫЙ ПРОТОЧНОЙ**

**Ю.А. Насонова, А.С. Смирнова**

Научный руководитель – Н.И. Воронина, ст. преподаватель

*Ярославский государственный технический университет*

Флотатор предназначен для обработки воды промышленных и бытовых стоков, для удаления белков, жиров, нефтепродуктов, ПАВ, СПАВ и других примесей. Флотатор двухступенчатый проточный включает в себя следующие устройства: камера смешения, емкость флотатора, насосный агрегат эжектор, сатуратор, скребковое колесо, мотор-редуктор, рама, пульт с автоматической системой управления. Подробнее рассмотрим насосный агрегат.

Насос для флотаторов, используется для флотации воды и сточных вод. Он применяется для различных типов флотаторов и участвует в схемах флотации сточных вод. Предназначен для смешивания и растворения различных газов, таких как кислород, азот, озон,  $\text{CO}_2$ , водорода и хлора в воде и различных жидкостей. Насос эффективно работает в установках и системах флотации вод. Компоновка насосов в флотаторах заключается в том, что при применении насосов флотаторов в системах флотации, существенно упрощается технологическая цепочка и снижается стоимость оборудования, путем отказа от комплектующих.

Конструкция насоса флотации воды и сточных вод - тот точный механизм перекачки, который смешивает поступающую воду с любым газом, используя гидродинамические принципы. Всасывание газа или воздуха происходит самостоятельно. На выходе получается высоконасыщенная газовоздушная смесь.

Насосы флотаторы применяются:

В производстве новых установки и системы флотации сточных вод.

При реконструкции существующих очистных сооружений.

В организации дополнительного блока очистки или доочистки.

Для установки смешивания реагентов.

В аэрационных системах.

Следовательно, при их применении получаем:

1. Работающую технологию флотации, с гарантией результата.
2. Возможность модернизировать и провести реконструкцию очистных сооружений.
3. 100% - перемешивание и насыщение обрабатываемой воды.
4. Экономии на эксплуатации до 25%, минимальные затраты на ремонт.
5. Минимальные вложения - необходим только насос, нет компрессоров.

## УСТРОЙСТВО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

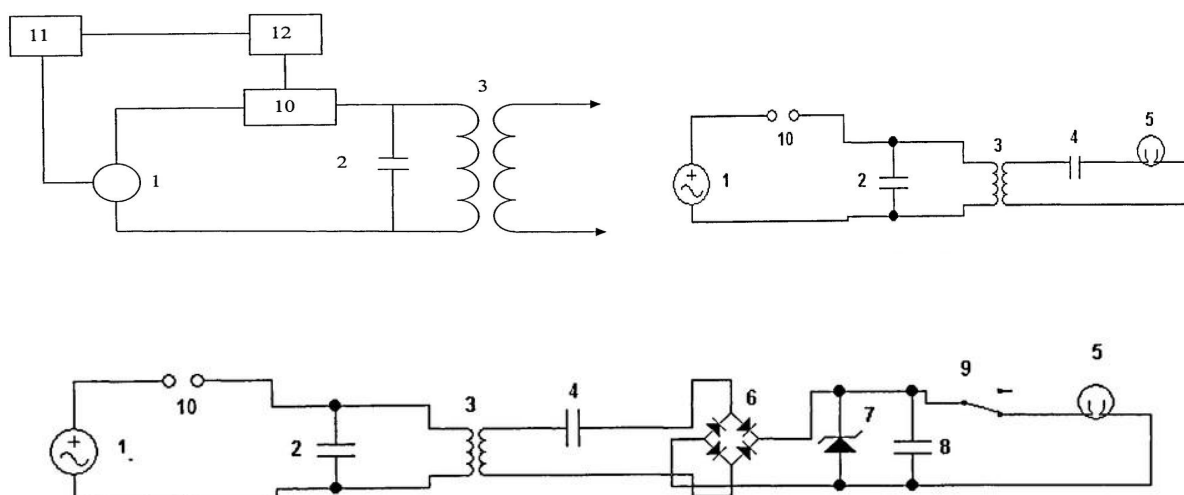
**А.А. Орлова**

Научный руководитель – В.А. Якущенко, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

Изобретение относится к области преобразования электрической энергии, а именно к устройствам преобразования статического электричества в электрическую энергию небольших напряжений при малых токах. Технический результат заключается в создании устройства с высоким КПД, простого и небольших размеров. Устройство преобразования энергии статического электричества содержит последовательно соединенные источник статического электричества, искровой разрядник и понижающий трансформатор. Параллельно первичной обмотке трансформатора, подключенной к разряднику, подключена первая емкость. Выход вторичной обмотки трансформатора через вторую емкость подключен к нагрузке. Частота резонанса первого контура, образованного первичной обмоткой трансформатора и параллельно подключенной к обмотке первой емкостью, примерно равна частоте резонанса второго контура, образованного вторичной обмоткой и последовательно подключенной к вторичной обмотке второй емкостью. Предложенное устройство может быть применено в широком спектре устройств использования энергии статического электричества как бытовых, так и промышленных.

Примеры возможных схем:



## **ИНЕРЦИОННЫЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

**Д.В. Лебедев**

Научный руководитель – В.А. Якущенко, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

Рассматриваемое изобретение – инерционный электродвигатель постоянного тока – относится к электротехнике, к конструированию электродвигателей с усилителями крутящего момента. Технический результат состоит в повышении мощности, уменьшении потребления электроэнергии и экономии цветных металлов. Электродвигатель содержит корпус с опорной плитой, закрытый передней и задней крышками, свободный конец вала с якорем пропущен в отверстие передней крышки. Якорь выполнен в форме двух инерционных механизмов, закрепленных на валу, одинаковых по конструкции, развернутых в горизонтальной плоскости один относительно другого на 180 градусов, продольные оси которых перпендикулярны продольной плоскости вала. Каждый инерционный механизм содержит круглый корпус, закрытый с передней торцевой стороны и имеющий на ней центральное отверстие. С наружной торцевой стороны корпуса закреплена неподвижная зубчатая шестерня. В задней части корпус закрыт задней крышкой с центральным отверстием, на наружной поверхности задней крышки корпуса закреплен приводной электродвигатель постоянного тока. Внутри корпуса размещена планетарная передача, входное звено которой соединено с валом приводного электродвигателя, а выходное звено – с горизонтальным валом с крестовиной, на четырех концах которой установлены свободно сидящие на осях шестерни с дебалансами, входящие в зацепление с неподвижной зубчатой шестерней. Каждый последующий дебаланс на шестернях крестовины смещен относительно предыдущего на 90 градусов. На якорном валу, на изоляционной втулке закреплены два токовых кольца, контактирующих с угольными щетками. Положительные выводы обоих приводных электродвигателей электрически соединены с одним токовым кольцом, а отрицательные выводы соединены с другим токовым кольцом.



## СОВРЕМЕННЫЕ АСИНХРОННЫЕ И СИНХРОННЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ

**Д.В. Жмак**

Научный руководитель – В.А. Якущенко, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Современный электрический двигатель (машина) используется повсеместно в различных отраслях производства, строительстве, судостроении, автомобилестроении и много где ещё. Все электродвигатели можно разделить на две большие группы работающие от переменного, либо от постоянного тока, еще существуют универсальные, которые могут работать от обоих типов питания.

По принципу работы электродвигатели переменного тока делятся:

1. Синхронные. Ротор в таких двигателях движется синхронно с частотой вращения магнитного поля статора.
2. Асинхронные. Магнитное поле статора вращается быстрее ротора.

По количеству фаз электродвигатели переменного тока делятся:

- Однофазный. Питается от однофазной сети. Конструктивная особенность одна рабочая обмотка.
- Двухфазный. Питается от трехфазной сети. Две рабочие обмотки, сдвинутые на 90 градусов в пространстве.
- Трехфазный. Питается от трехфазной сети. Три рабочие обмотки, сдвинутые на 120 градусов в пространстве.

Электродвигатели различаются по массе, размерам, мощности и другими характеристиками, но при этом они используют один и тот же принцип - электромагнитной индукции, открытый М. Фарадеем в 1821 году. На основе трудов М. Фарадея и Э. Ленца в 1834 году был создан первый практически пригодный электрический двигатель. Его создателем является русский ученый Б. С. Якоби.

К преимуществам электродвигателей относится:

Высокий КПД 85–95%.

Долговечность и простота в использовании.

Компактность и небольшой вес.

Экологичность.

Возможность использование генераторного режима для рекуперации кинетической энергии автомобиля.

## **ИЗМЕРЕНИЕ КООРДИНАТ ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ РЛС**

**И.А. Созонтов**

Научный руководитель – С.Г. Боровиков, канд. техн. наук, доцент  
*филиал ВКА им. А.Ф. Можайского (г. Ярославль)*

Радиоэлектронная станция должна постоянно и правдоподобно отображать информацию об окружающей обстановке. Источники излучения (ИИ) находящиеся в ближней зоне РЛС оказывают на ее работу существенное влияние и могут являться, в ряде случаев, эффективным средством радиоэлектронного подавления. Применяемые в настоящее время методы радиоэлектронной защиты не всегда обеспечивают выполнение задач РЛС. Существует необходимость определять местоположение (измерение координат) источников излучения.

Определение азимутальной координаты ИИ целесообразно осуществлять антеннами с минимальным размером ближней зоны, обладающие хорошей пространственной избирательностью.

В качестве информативного параметра при определении дальности до ИИ предлагается использовать кривизну фазового фронта создаваемых ими сигналов.

Повышение точности измерения дальности возможно за счет учета разностей фаз сигнала в каждом приемном канале и реализации алгоритма усреднения фаз с весовыми коэффициентами.

Информационные модели в радиолокационной системе определяются исходя из возможностей входящих в её состав элементов. Предлагается совершенствовать существующие системы отображения информации радиолокационных станций. На примере аппаратуры 59Н6 предлагаются технические решения, позволяющие по характерным признакам выявить факт наличия источников излучения, обеспечить передачу информации о факте наличия и их координатах человеку-оператору. Основными из них являются включение в состав аппаратуры обработки информации устройства определения дальности до источника излучения функционально связанного с системой передачи азимута и аппаратурой обработки, решающей задачу пеленгации; определение коэффициента сжатия зоны обнаружения; аппаратурой вторичной обработки, обеспечивающей анализ изменения дальности и угла места источника; введение отдельного графического изображения для источника излучения и дублирование этой визуальной информации звуковым сигналом.

## **АНАЛИЗ НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ МНОГОФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

**Г.В. Сидоренко**

Научный руководитель – В.А. Якущенко, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Асинхронный двигатель, являясь необходимым элементом многих машин и механизмов, непосредственно определяет их технические и энергетические показатели. Одной из областей применения асинхронного двигателя являются механизмы с автономным источником питания, которые включают в себя мобильные установки, транспортные системы, шахтное и судовое оборудование и т.д. Обладая высокими массогабаритными, динамическими показателями и надежностью, асинхронного двигателя наиболее полно удовлетворяет специфическим требованиям энергетических систем.

Цель работы, которую я преследую, заключается в том, чтобы сделать анализ несимметричных режимов работы многофазного асинхронного двигателя. А именно в своей работе я рассматриваю такие аспекты, как: несимметрия в цепи статора / ротора, однофазные асинхронного двигателя, генераторный / трансформаторный режим асинхронной машины, а также тормозные режимы асинхронного двигателя.

Необходимость применения многофазного асинхронного двигателя оправдывается качественным и конструктивно-техническим требованиям, предъявляемым к системам в целом. Потребности народного хозяйства удовлетворяются главным образом двигателями основного исполнения единых серий общего назначения, т.е. применяемых для привода механизмов, не предъявляющих особых требований к пусковым характеристикам, скольжению, энергетическим показателям, шуму и т.п. Асинхронные двигатели - наиболее распространенный вид электрических машин, потребляющих в настоящее время около 40% всей вырабатываемой электроэнергии. Их установленная мощность постоянно возрастает. В ряде стран вопросы энергосбережения в стандартных асинхронных двигателях связывают не столько со снижением эксплуатационных затрат, сколько с экологическими проблемами, обусловленными производством электроэнергии.

## **НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ. ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ НАСОСЫ**

**П.Ю. Ядрихинский**

Научный руководитель – Н.И. Воронина, ст. преподаватель  
*Ярославский государственный технический университет*

Циркуляционные насосы это самый важный элемент системы отопления и водообеспечения. Они создают высокую циркуляцию жидкостей в системах отопления и кондиционирования воздуха, обеспечивая постоянную подачу горячей воды, выводя остывшую воду обратно в водонагреватель.

Современные модели циркуляционных насосов полностью автоматизированы. Это значит, что эти модели сами подстраиваются под заданные параметры, на что никак не влияет тип здания и температура воздуха.

Циркуляционный насос состоит из корпуса, в котором находится ротор с закрепленной на нем крыльчаткой. Корпус насоса может быть выполнен из чугуна, алюминия, бронзы, нержавеющей стали. Рабочее колесо может быть из технополимера, нержавеющей стали. В результате вращения ротора с крыльчаткой происходит движение теплоносителя по отопительной системе. Патрубки одинакового диаметра расположены в одну линию. Для сокращения тепловых потерь дополнительно поставляется специальная теплоизоляционная оболочка.

Основные характеристики циркуляционных насосов:

- Производительность – до  $10 \text{ м}^3/\text{час}$ .
- Напор - до 10 метров. Это не высота, на которую он поднимает воду, а преодоление гидравлического сопротивления системы.
- Температура теплоносителя - до  $110^\circ\text{C}$ .
- Максимальное давление в системе - 10 бар.

Достоинства: имеют небольшие габариты и вес, работают практически бесшумно и потребляют мало электроэнергии.

## БЕСЩЕТОЧНЫЙ СИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР

**К.Д. Рак**

Научный руководитель – В.А. Якущенко, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Бесщеточный синхронный генератор, является необходимым элементов многих машин и механизмов. Одной из областей применения бесщеточного синхронного генератора являются шахтовое и судовое оборудование и прочее применение, то есть где обычный щеточный генератор выйдет из строя, в связи с загрязненной средой (пыль и т.д.). Бесщеточный синхронный генератор обеспечивает максимум надежности при минимуме трудозатрат на обслуживание.

Одним из основных недостатков при обслуживании судовых синхронных генераторов является наличие щёточно-кольцевого аппарата. Этот узел наиболее изнашивается в процессе работы. Большое количество пыли от угольных щёток загрязняет обмотки, создавая проводниковые мосты между ведущими частями синхронного генератора и корпусом: ухудшается изоляция генератора, уменьшая срок их службы, требуется внеочередной ремонт с полной разборкой. Благодаря кремниевому выпрямителю, введёному в конструкцию генератора, исчезает необходимость в контактных кольцах и щётках для подвода тока к обмотке возбуждения генератора. Таким образом, возбудитель совместно с автоматическим регулятором напряжения позволяет поддерживать напряжение генератора с заданным отклонением при малых и больших нагрузках и обеспечивает защиту от короткого замыкания. Отсутствие щёточной аппаратуры значительно повышает надёжность бесщеточного синхронного генератора, сокращает трудозатраты на обслуживание ввиду отсутствия угольной пыли на обмотках. Они также могут применяться и на высоких частотах вращения первичных двигателей, чем обеспечивается более надёжное возбуждение.

Цель работы, которую я преследую, заключается в том, чтобы сделать полный анализ бесщеточного синхронного генератора. В своей работе я рассматриваю такие важные аспекты, как: устройство бесщеточного генератора, отличие щеточного генератора от бесщеточного, плюсы и минусы бесщеточного синхронного генератора.

Необходимость применения бесщеточного синхронного генератора оправдывается качественным и конструктивно-техническим требованиям, предъявляемым к системам в целом. Данный бесщеточный синхронный генератор способен переносить трехкратные мгновенные перегрузки, а также отличаются более высоким качеством электроэнергии. Синхронный генератор может обеспечивать электроэнергией все типы приборов без ограничений. В основном бесщеточный синхронный генератор не требует особых трудозатрат на обслуживание, чем объясняется его уникальность.

## УСТРОЙСТВО ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ МОБИЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

**О.А. Яковлев, А.Н. Беляев**

Научный руководитель – Е.А. Чашин, канд. техн. наук, доцент  
*Ковровская государственная технологическая академия  
им. В.А. Дегтярева*

Работа направлена на реализацию ресурсосберегающих технологий, а именно повышение топливной экономичности мобильной тепловой электростанции на базе двигателя внутреннего сгорания (ДВС). В настоящее время одной из актуальных является проблема ресурсосбережения и повышения энергоэффективности тепловых двигателей. Одним из решений задачи является увеличения полноты сгорания топливно-воздушной смеси (ТВС) в рабочем цилиндре ДВС.

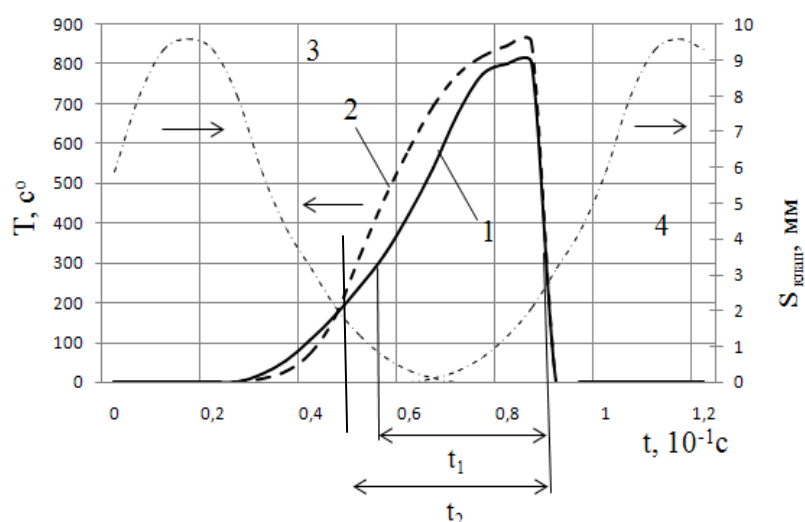


Рис. 1. График процесса воспламенения ТВС:  
1 – базовый вариант без обработки ТВС;  
2 – с электростатической обработкой ТВС;  
3 – перемещение выпускного клапана;  
4 – перемещение выпускного клапана

Время рабочего цикла в 4-х тактном ДВС при неизменных фазах впуска и выпуска (рис. 1, кривая 3 и 4 соответственно) ограничено временем подъема клапанов на величину  $S_{\text{клап}}$ , и для рассматриваемого случая составляет 59 мс. Для увеличения эффективности процесса сгорания необходимо, чтобы область горения (кривая 1), находилась преимущественно внутри временного интервала рабочего цикла. При электростатической обработке (кривая 2) область горения смещается ближе к моменту воспламенения, за счет снижения низшей температуры воспламенения и времени индукции горения ТВС. Вследствие этого возрастает площадь подынтегральной кривой (кривая 2) а, следовательно, и эффективность процесса сгорания.

**Закключение.** В работе показана возможность повышения эффективной мощности и крутящего момента ДВС на 10% за счет увеличения полноты сгорания ТВС на переходных режимах работы.

## **ВЛИЯНИЕ ЁМКОСТИ НАКОПИТЕЛЯ НА ИЗМЕНЕНИЕ БЕЗОТКАЗНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

**Г.В. Квашнина**

*Липецкий государственный технический университет*

Одним из способов повышения безотказности электроснабжения потребителей является введение избыточностей. Для осуществления резервирования в качестве устройства для накопления электрического заряда в системе может быть использован автономный источник тока, подключаемый параллельно с основной питающей сетью, и осуществляющий питание потребителя в случае отказа основной цепи.

Выбор типа накопителя, уровня требуемой мощности и ресурса его работы зависят от эксплуатационных параметров резервируемой схемы. Наиболее предпочтительным для резервирования электроприёмников III категории представляется использование аккумуляторов, надежность и срок службы которых во многом зависят от их ёмкости. Использование избыточной ёмкости аккумулятора ужесточает требования к циклу заряда/перезаряда, т.к. продолжительная работа аккумулятора в режиме неполного заряда резко снижает срок его службы. В то же время продолжительность работы накопителя на нагрузку в значительной степени влияет на безотказность работы системы с резервом. Можно предположить, что для обеспечения резервирования при сокращении непроизводительных издержек в накопителе, время его разряда должно быть равно времени восстановления системы. Результаты расчета времени работы потребителя от накопителя для произвольной системы показали, что с увеличением времени восстановления системы увеличивается разница между реальным и теоретически необходимым значениями времени питания сети от источника. Выяснили, что с ростом времени восстановления системы снижается доля обеспечения необходимого уровня безотказности системы, что вносит свои коррективы в процесс выбора резервного источника.

Таким образом, повышение безотказности электроснабжения электроприёмников III категории возможно как путем повышения времени разряда накопителя, так и структурным резервированием системы электроснабжения.

## **ТРЕБОВАНИЯ К ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ СИСТЕМАМ СУДОВ**

**К.О. Матюшков, В.В. Даниленко, Д.В. Комардин**

Научный руководитель – Р.С. Федюк

*Дальневосточный федеральный университет*

Решение задач, связанных с ростом мощностей в специфических условиях судна, в частности, в условиях малого объема помещений, требует одновременного отыскания путей максимального снижения относительных масс и габаритов элементов судовых электростанций (СЭС).

Электрическое оборудование должно безотказно работать в условиях относительной влажности воздуха  $75\pm 3\%$  при температуре  $+45\pm 2$  °С или  $80\pm 3\%$  при температуре  $+40\pm 2$  °С, а также при относительной влажности воздуха  $95\pm 3\%$  при температуре  $+25\pm 2$  °С. Электрическое оборудование должно безотказно работать при длительном крене судна до  $15^\circ$  и дифференте до  $5^\circ$ , а также при бортовой качке до  $22,5^\circ$  с периодом качки 7-9 с и килевой до  $10^\circ$  от вертикали.

Аварийное оборудование должно, кроме того, надежно работать при длительном крене до  $22,5^\circ$ , дифференте до  $10^\circ$ , а также при одновременном крене и дифференте в указанных выше пределах.

Электрическое оборудование должно безотказно работать при вибрациях с частотой от 5 до 30 Гц, с амплитудой 1 мм для частот от 5 до 8 Гц и с ускорением  $0.5g$  ( $5 \text{ м/с}^2$ ) при частотах от 8 до 30 Гц.

Электрическое оборудование должно безотказно работать при ударах с ускорением  $3g$  ( $30 \text{ м/с}^2$ ) при частоте от 40 до 80 ударов в минуту.

Подобные условия работы вызывают необходимость создавать специальное электрооборудование, значительно отличающееся от промышленного.

При проектировании судового электрооборудования необходимо учитывать возможность обливания электрооборудования морской соленой водой, затопления отдельных помещений.

Наиболее уязвимым местом всех элементов электрооборудования судов при воздействии на него высокой влажности и температуры окружающей среды, паров нефтепродуктов, кислот и щелочей является изоляция. Ее изготавливают из достаточно тепло-, влаго-, маслостойких негигроскопичных негорючих и механически прочных изоляционных материалов. Для электрооборудования применяется главным образом изоляция на основе слюды. Для изготовления кабелей служат специальные сорта резины, обладающие повышенной маслостойкостью и негорючестью.



## **УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ БЕТОНА ФЛЮАТИРОВАНИЕМ**

**А.А. Шевчук, О.Е. Хотянович**

Научный руководитель – О.Е. Хотянович, канд. техн. наук, доцент  
*Белорусский государственный технологический университет*

В ряду важнейших проблем строительной отрасли особое место занимает задача повышения эксплуатационной надежности и долговечности бетонных и железобетонных конструкций. Одним из эффективных способов является флюатирование – пропитка бетонных изделий растворами гексафторсиликатов магния, кальция, цинка и других металлов.

На кафедре химической технологии вяжущих материалов БГТУ ранее разработан способ получения гексафторсиликата магния, пропиточный состав «Сифтом» на его основе и режим поверхностной обработки бетона. Следует отметить, что одним из сырьевых материалов для получения гексафторсиликата магния является каустический магнезит марки ПМК-75 (ОАО «Комбинат Магнезит», Россия), стоимость которого в настоящее время составляет примерно 330 у.е. за тонну без учета транспортных расходов.

Анализ литературных данных показал, что наряду с гексафторсиликатом магния для поверхностной обработки бетона успешно применяется гексафторсиликат цинка. Для получения указанного материала может быть использована пыль газоочистки Белорусского металлургического завода, которая характеризуется постоянством химического состава и содержит около 40% оксида цинка, и гексафторкремниевая кислота с концентрацией 40-45 мас.%, образующаяся на ОАО «Стеклозавод «Неман».

Таким образом, целью исследования является разработка технологического процесса получения гексафторсиликата цинка из техногенного сырья и пропиточного состава на его основе.

В результате проведенных исследований оптимизированы режимы синтеза гексафторсиликата цинка и поверхностной обработки бетона. Установлено, что оптимальными параметрами синтеза являются: концентрация гексафторкремниевой кислоты – 18-22%; избыток гексафторкремниевой кислоты против стехиометрического количества – 3,0-5,0%; температура синтеза – 70-80 °С; время синтеза – 30-40 минут.

Оптимальным режимом обработки бетона является пропитка в два приема 5%-ным и 15%-ным раствором гексафторсиликата цинка. При пропитке образцов бетона достигается снижение водопоглощения на 8-10% по сравнению с контрольными (не обработанными) и, как следствие, повышение прочности при сжатии на 15-20% и морозостойкости на 30-40%.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГАЛЬВАНОШЛАМА НА АДГЕЗИЮ БИТУМА К НЕОРГАНИЧЕСКИМ ВЕЩЕСТВАМ В АСФАЛЬТОБЕТОНЕ**

**Т.В. Шаброва, Ш.М. Аглиев, М.А. Абрамов**

Научный руководитель - М.А. Абрамов, канд. техн. наук, ст. преподаватель  
*Ярославский государственный технический университет*

Проблемы дорожных покрытий – одна из наиболее злободневных тем для любого жителя нашей страны. Причины возникновения повреждений асфальтобетонных покрытий разнообразны. Это и регулярное увеличение нагрузок от транспортного потока, и нарушения технологии устройства дорожной одежды, и некачественные исходные материалы. Кроме того, сам по себе материал является многокомпонентным, а, соответственно, улучшение адгезии между составляющими также немаловажный и влияющий на свойства конечного продукта процесс.

Асфальтобетонные смеси являются основным видом битумоминеральных смесей и широко применяются для устройства автомобильных дорог, аэродромов и выполнения кровельных работ. С увеличением числа транспортных средств и их массивности условия эксплуатации дорожных покрытий ужесточились. Таким образом, возникла необходимость в применении более высококачественных материалов для устройства дорог.

Тщательно подобранный состав смеси обуславливает прочностные характеристики асфальтобетона и эксплуатационную устойчивость дорожного покрытия в целом, определяемую адгезией битума к заполнителю и рядом других характеристик.

В работе предлагается использовать гальваношлам – многотоннажный отход гальванического производства – в качестве промотора адгезии битума к минеральным компонентам асфальтобетона. Гальваношлам представляет собой смесь оксидов и гидроксидов металлов. Возможность его использования в качестве промотора адгезии обусловлена его основным характером и кислым характером поверхностей заполнителей и битума.

Целью работы является изучение влияния гальваношлама, вводимого в состав асфальтобетонной смеси, на прочностные и эксплуатационные характеристики.

Экологическая безопасность будет обеспечиваться связыванием ионов тяжелых металлов (компонентов исходного гальваношлама) с поверхностью мелкого заполнителя и образованием нерастворимых силикатов.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕТОНА В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР**

**А.А. Талалаев, К.А. Разгуляева**

Научный руководитель - М.А. Абрамов, канд. техн. наук, ст. преподаватель  
*Ярославский государственный технический университет*

С каждым годом количество возводимых зданий и сооружений во многих странах, в том числе и в России, увеличивается. Это связано с ростом городов и численности их населения. Вследствие этого все больше строятся многоэтажные (10-25 этажей) и высотные здания, к которым предъявляются повышенные требования. Они могут быть обеспечены при использовании более прочных и качественных материалов.

Таким образом, в технологии возведения зданий и сооружений все большую популярность имеет высокопрочный бетон, из которого изготавливается основная часть конструктивных элементов. Высокопрочным бетоном называется бетон, к исходным материалам которого предъявляются повышенные требования.

Преимуществами таких бетонов считают его прочность, возможность создания более тонкостенных конструкций, быстрый набор прочности, раннюю распалубку и многое другое, что способствует ускорению строительства и созданию значительно более дешевых и долговечных конструкций.

В то же время за последнее десятилетие отмечается рост количества пожаров. И при этом ярко выраженным недостатком высокопрочного бетона является потеря им своих высоких физико-механических свойств в условиях воздействия высоких температур. Характерной особенностью высокопрочного бетона, кроме этого, также является его взрывообразное разрушение, что может привести к частичному или полному разрушению конструкции.

Разработка мероприятий по защите высокопрочного бетона от такого разрушения позволит защитить несущие железобетонные конструкции и, следовательно, обеспечит требуемую огнестойкость конструкции при воздействии высоких температур пожара.

Задачи работы:

- изучить поведение высокопрочного бетона при воздействии различных типов пожаров;
- разработка диаграмм деформирования бетона в условиях воздействия высоких температур;

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УСТРОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ МОНОЛИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ПОЛОВ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

**В.В. Конечнов**

Научные руководители – В.Б. Доброхотов, канд. хим. наук, доцент;

М.А. Абрамов, канд. техн. наук, ст. преподаватель

*Ярославский государственный технический университет*

Конструкция пола оказывает существенное влияние на стоимость здания. Так в одноэтажных промышленных зданиях его стоимость составляет 10-20%, а в многоэтажных от 5 до 15% от общей стоимости здания. Монолитные полимерные полы отвечают большинству предъявляемых к промышленным полам требований и благодаря этому находят широкое применение практически во всех отраслях промышленности: химической, машиностроительной, пищевой, медицинской, лёгкой и др. Для достижения оптимального показателя цена-долговечность необходимо тщательно анализировать всю конструкцию пола и подбирать конкретный состав под заданные нагрузки. Определяющими факторами долговечности могут быть, во-первых, толщина покрытия, и во-вторых, свойства основания, т.к. сцепление покрытия с основанием пола зависит от состава и условий формирования основания и покрытия.

Возможные варианты выполнения полимерных покрытий представлены в таблице.

Толщина покрытия, мм	Характеристика
до 1	пропиточные, изоляционные составы
1..2	рекомендуемая минимальная толщина наливного пола
3..4	средние толщины наливного пола
5..6	наибольшая толщина наливного пола, осуществляется путем нанесения нескольких слоев
6..10	высоконаполненные составы
12..17	каркасное покрытие

При изучении работы монолитных покрытий под действием циклической механической нагрузки было установлено сильное влияние состава Ц:П основания на прочность сцепления между покрытием и Ц:П основанием, а, следовательно, на долговечность всего пола. Включение всей системы в работу позволит полностью использовать затраты материалов на создание пола.

Дальнейшие исследования направлены на изучение других видов нагружения, их влияние на адгезионную прочность между слоями наливного пола, а также компьютерное моделирование конструкции пола.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА АСФАЛЬТОБЕТОНА НА ЕГО ПРОЧНОСТНЫЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

**Д.И. Головкина, А.В. Демехина, М.А. Абрамов**

Научный руководитель - М.А. Абрамов, канд. техн. наук, ст. преподаватель  
*Ярославский государственный технический университет*

Уже многие годы в России проводятся работы по изысканию добавок, улучшающих эксплуатационные характеристики асфальтобетона.

К добавкам, конечной функцией которых является улучшение качества дорожного полотна, относятся следующие типы материалов:

- модификаторы битума (каучуки, резиноподобные пластмассы);
- адгезионные присадки к битуму (амидоамины, имидазолины, улучшающие сцепление вяжущего с поверхностью каменного материала);
- стабилизаторы ЩМАС (волоконные добавки, которые применяются для предотвращения стекания битума из смеси при транспортировке и укладке);
- модификаторы асфальтобетонной смеси;
- структурирующие добавки в асфальтобетонную смесь (минеральный порошок или цемент).

Большое значение придается использованию переработанных отходов промышленности, позволяющих повысить качество асфальтобетона, снизить расход битума и себестоимость производства.

Областью исследования являются асфальтобетонные смеси и асфальтобетон, применяемые для устройства покрытий и оснований автомобильных дорог, аэродромов, городских улиц. Главная цель исследовательской работы заключается в рациональном подборе компонентов смеси, взятых в определенных соотношениях для достижения оптимальных эксплуатационных свойств дорожного покрытия. В работе использовались следующие минеральные добавки: доломитовая мука, карбонат кальция (мел), мелкий песок. Все эти добавки служат в качестве заполнителя, повышающего вязкость и клеящую способность битума, а также обеспечивающего его экологическую безопасность.

По результатам испытания стандартных образцов установлено, что мел и доломитовая мука действуют как добавка, однако прочность образцов достигает максимального значения при разном их процентном содержании. Напротив, вводимый измельченный песок увеличивает прочность стандартных образцов только при значительном его количестве, т.е. действует как компонент смеси. Представляет несомненный интерес дальнейшее изучение и моделирование состава многокомпонентной смеси для повышения прочностных и эксплуатационных характеристик.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ И РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ ПОЛОВ**

**И.А. Большаков, И.И. Лавров, М.А. Абрамов**

Научный руководитель - М.А. Абрамов, канд. техн. наук, ст. преподаватель  
*Ярославский государственный технический университет*

Вопрос о влиянии масел на бетонные и железобетонные конструкции начал привлекать внимание строителей еще в начале XX века. Это связано с тем, что при эксплуатации различного технологического оборудовании на строительные конструкции часто попадали минеральные масла, которые в большей или меньшей степени пропитывали железобетонные плиты перекрытий промышленных зданий, а также балки и колонны. Из литературы известно, что минеральные масла, а особенно отработанные, изменяют прочностные характеристики и некоторые другие свойства бетона и железобетона. При длительной эксплуатации в таких средах прочность бетона может снижаться до 1/3 от первоначальной, а сцепление с гладкой арматурой до 70%. Также в литературе указано, что при пропитке маслом отсутствует способность к гидратации клинкерного фонда цементного камня, в результате чего промасленные бетоны не могут набирать прочность со временем. При эксплуатации объектов нефтехимического и нефтеперерабатывающего комплекса, теплоэнергетики, машиностроительных и металлообрабатывающих предприятий, типографий, прядильных и ткацких фабрик зачастую приходится сталкиваться с воздействием масел на бетонные и железобетонные конструкции. Однако практически отсутствуют данные по совместному коррозионному и механическому воздействию, возникающему при интенсивном движении технологического транспорта и колесной техники.

Степень агрессивного влияния минеральных масел зависит от концентрации в них асфальто-смолистых веществ и присадок. Так, вазелиновое масло не изменяет прочностные характеристики бетона, а отработанные минеральные масла интенсивно снижают прочность бетона.

В работе показано влияние воздействия масел на структурно-механические характеристики бетонных покрытий полов как под действием циклической механической нагрузки, так и без нее.

Установлено, что существенное снижение прочностных показателей бетона покрытия не ведет к необратимым последствиям при интенсивном механическом нагружении. Показано также, что корректный подбор состава, в частности фракционирование мелкого и крупного заполнителя, позволяет контролировать и с минимальными затратами влиять на эксплуатационные характеристики покрытий полов.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МОРОЗОСТОЙКОСТИ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА**

**А.И. Петров**

Научные руководители – В.Б. Доброхотов, канд. хим. наук, доцент;

Ю.М. Придатко, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

В зависимости от соотношения расхода составляющих бетонной смеси и условий формирования структуры получают композиционный материал с различными характеристиками. Важнейшей из них является долговечность. Для бетонных и железобетонных конструкций, эксплуатируемых на открытом воздухе, в основном ее оценивают морозостойкостью.

В таких условиях бетон конструкций подвергается увлажнению и циклическому замораживанию и оттаиванию. При этом он приобретает повреждения, которые увеличивают его проницаемость. Деструкция материала сопровождается изменением его минералогического и химического состава. Следствием является ухудшение защитных свойств по отношению к арматуре. Таким образом, морозостойкость бетона имеет особое значение для обеспечения долговечности, эксплуатационной надежности конструкций и сооружений из бетона и железобетона.

Основные известные методы определения морозостойкости бетона трудоемки, требуют существенных затрат времени. Они не позволяют оперативно определять этот показатель.

Целью работы является разработка нового способа определения морозостойкости бетона на основе использования стандартного оборудования, предусмотренного ГОСТ 10060.3-95\*. Предлагаемый способ позволяет существенно повысить достоверность определения долговечности бетона путем учета возможности варьирования основных производственных факторов и их влияния на физико-механические свойства заполнителя, его способность взаимодействовать с продуктами гидратации вяжущего.

В экспериментах производили предварительную термо-влажностную обработку мелкого заполнителя, моделирующую характерные условия получения бетона на действующих производствах. При этом исследовали и влияние пластифицирующей добавки на кинетику формирования структуры, механические свойства получаемого мелкозернистого бетона.

Проведен технико-экономический анализ эффективности применения предлагаемых способов регулирования физико-механических свойств бетона и его морозостойкости. Разработаны основные положения по использованию нового оперативного способа определения долговечности тяжелого бетона.

## **ИЗУЧЕНИЕ МОРОЗОСТОЙКОСТИ СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**С.В. Поздняков, Е.А. Мизина**

Научные руководители – В.Б. Доброхотов, канд. хим. наук, доцент;

Ю.М. Придатко, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

В настоящее время в строительстве используются разнообразные вяжущие вещества. Одним из минеральных вяжущих, наиболее экологически чистым и малоэнергоемким является воздушная известь. Она имеет широкое распространение как в качестве вяжущего, так и в качестве пластификатора для минеральных строительных смесей.

Важнейшей задачей является совершенствование технологии производства и получения строительных материалов как на основе извести, так и сложных, и улучшение их основных свойств.

В условиях нашего климата особое внимание следует уделять такому свойству как морозостойкость. Сотни тысяч конструкций из бетона и железобетона находятся на открытом воздухе, увлажняются при действии природных факторов, подвергаются замораживанию и оттаиванию. Конструкции из неморозостойкого бетона со временем теряют несущую способность, подвергаются поверхностному износу и получают различного рода повреждения. Морозные повреждения защитного слоя, бетон которого работает в особенно жестких условиях, увеличивают его проницаемость и ухудшают защитные свойства по отношению к арматуре. Таким образом, морозостойкость бетона имеет особое значение для обеспечения долговечности и эксплуатационной надежности конструкций зданий и сооружений различного типа.

Одной из целей работы является сравнение двух методов определения морозостойкости бетона: стандартного, который заключается в попеременном замораживании-оттаивании образцов в насыщенном водой состоянии, и ускоренного – дилатометрического, суть которого заключается в однократном замораживании водонасыщенных образцов в керосине до температуры минус 20 °С и сравнении аномальных скачков объемных деформаций исследуемых и стандартных систем в применении к силикатным стеновым материалам.

Другая важная задача работы – это изучение возможности повышения морозостойкости силикатных бетонов, как за счет различным методов модификации сырьевой смеси на стадии ее приготовления, так и в процессе автоклавной обработки.

Предполагается, что рассматриваемые технологические факторы могут существенно влиять на морозостойкость получаемых бетонов.



## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРОПРОНИЦАЕМОСТИ МАТЕРИАЛА «ISOFLEX»**

**А.А. Басова, М.А. Махов, Е.В. Нозикова**

Научный руководитель – В.Б. Доброхотов, канд. хим. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Пароизоляция – это слой материала, основным назначением которого является предотвращение проникновения влаги в результате диффузии водяных паров в строительные конструкции.

Пароизоляция является неотъемлемым элементом системы утепления, предотвращающим ее переувлажнение от влаги, поступающей из помещений. Влажность внутри помещения всегда выше, чем снаружи, особенно в холодную погоду. Повышение влажности в утеплителе ведет к существенному снижению его теплоизолирующих характеристик.. Пароизоляция должна располагаться относительно утеплителя со стороны отапливаемого помещения.

Выполнение пароизоляционных работ является весьма трудоемким строительным процессом, требующим существенных материальных и временных затрат. При этом эффективность и долговечность пароизоляционных систем и материалов во многом зависит от тщательности выполнения таких работ и строгого соблюдения технологических режимов.

Хорошим способом повышения производительности выполнения пароизоляционных работ и одновременного обеспечения высокого их качества является применение современных мастичных составов на полимерной основе. Одним из таких материалов является «ISOFLEX».

«ISOFLEX» - жидкий эластомер без растворителей, который, будучи нанесенным на поверхность, образует на ней плотную полимерную пленку. Это – эффективное решение для гидроизоляции террас, балконов, стен и надземных швов. Это также простое и надежное решение герметизации «сложных» зон (примыканий, стыков и мест соединения материалов, различных по своей природе). Однако в настоящее время возможность применения такого состава для выполнения пароизоляции не изучена. Для того, чтобы рекомендовать его для широкого применения в качестве пароизоляционного материала необходимо провести комплексное исследование влияния технологических условий и способов выполнения работ на основные его эксплуатационные характеристики, и в том числе на долговечность в различных условиях.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕДИСПЕРГИРУЕМЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПОРОШКОВ НА МОРОЗОСТОЙКОСТЬ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА**

**М.Д. Громова**

Научный руководитель – В.Б. Доброхотов, канд. хим. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

В условиях нашего климата такому свойству бетона как морозостойкость следует уделять особое внимание. Множество конструкций из бетона и железобетона находятся на открытом воздухе, увлажняются при действии природных факторов, подвергаются периодическому замораживанию и оттаиванию. В результате конструкции подвергаются поверхностному износу, получают различного рода повреждения и со временем теряют несущую способность. Таким образом, морозостойкость бетона имеет особое значение для обеспечения долговечности конструкций из бетона и железобетона и эксплуатационной надежности зданий и сооружений.

В настоящее время большинство бетонных смесей модифицируется различного рода добавками, улучшающими свойства бетона и бетонной смеси или придающими им специальные свойства. Часто в качестве модифицирующих добавок для бетонных смесей используются редиспергируемые полимерные порошки.

Редиспергируемые полимерные порошки (РПП) – это сухие порошки органических полимеров, которые при смешивании с водой образуют устойчивые водные дисперсии. Они могут улучшить адгезию, повысить прочность бетона на сжатие и растяжение, ударную прочность, устойчивость поверхности к истиранию, а также эффективно снизить растрескивание. В работе будет применяться ПВХ, который выпускается в виде капиллярно-пористого порошка с размером частиц 100-200 мкм, получаемого полимеризацией винилхлорида в массе, суспензии или эмульсии. Порошок сыпуч и хорошо перерабатывается. В бетонную смесь он будет добавляться предварительно обработанный ПАВом.

В своей работе я планирую оценить изменение морозостойкости бетона после введения в бетонную смесь РПП. Предполагается, что полимер в процессе схватывания бетона будет заполнять большую часть капилляров, таким образом, препятствуя проникновению воды толщу бетона, а следовательно, улучшая морозостойкость.

Исследования будут проводиться ускоренным – дилатометрическим методом. Суть этого метода заключается в определении объемных деформаций водонасыщенных бетонных образцов при их замораживании в камерах дилатометра. График объемных деформаций таких образцов, имеет зону аномальных изменений, связанных с переходом воды в лед. Величина максимального относительного изменения объема образца  $\theta$  корреляционно связана с маркой бетона по морозостойкости.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ НА КОРРОЗИОННЫЙ ИЗНОС БЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ**

**А.Е. Баронов, Ю.С. Затеева**

Научный руководитель – В.Б. Доброхотов, канд. хим. наук, доцент;

М.А. Абрамов, канд. техн. наук, ст. преподаватель

*Ярославский государственный технический университет*

Цементный камень в процессе эксплуатации бетонных конструкций может подвергаться различным видам разрушения. Причинами разрушения могут являться: химическая коррозия (воздействие воды и растворённых в ней веществ), механические воздействия (удар, истирание, вибрация), физические воздействия (высокие температуры эксплуатации, чередующееся замораживание и оттаивание). Но наиболее опасны эти явления при комплексном сочетании различных факторов.

Бетонные конструкции, для которых характерны подобные комплексные воздействия, широко встречаются в промышленных зданиях – это бетонные полы, фундаменты оборудования, и т.д. Например, такие воздействия являются типичными для зданий и сооружений химической промышленности, где неоднократные разливы агрессивных для цементного камня веществ на бетонные поверхности (например, растворы различных солей, кислот и других веществ) сочетаются с механическими нагрузками, возникающими при движении технологического транспорта и работе различного оборудования. При этом наблюдается протекание одновременно и химической коррозии, и механического повреждения структуры бетона (интенсивные вибрации и удары, истирание).

Цель нашего исследования – подбор оптимального заполнителя, эффективных и недорогих добавочных компонентов, для увеличения эксплуатационного срока бетонного изделия при комплексном воздействии на него разрушающих факторов. Добиться этого можно на разных этапах изготовления и эксплуатации соответствующих бетонных конструкций: правильная подготовка сырья, подбор эффективного состава бетонной смеси, регулирование условий твердения, дополнительные меры по обеспечению защиты изделия от агрессивной внешней среды во время эксплуатации.

На первом этапе исследования идёт определение влияния комплексного воздействия факторов на коррозионный износ бетонов. Дальнейшей задачей является разработка способов эффективного прогнозирования долговечности и определения оптимального состава бетона в сложных условиях комплексных воздействий.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА ОБЛЕГЧЕННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ С ДОБАВЛЕНИЕМ РПП НА ПАРОПРОНИЦАЕМОСТЬ**

**В.Г. Иванова, Н.Ю. Виноградова, А.В. Горчакова**

Научный руководитель – В.Б. Доброхотов, канд. хим. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

Областью исследования является влияние состава минеральных строительных растворов содержащих редиспергируемые полимерные порошки (РПП) на паропроницаемость строительных растворных композиций..

Пароницаемость строительного раствора зависит от его пористости, структуры пор, свойств вяжущего и заполнителей, а также от объема и распределения макропор и капилляров в бетоне. Редиспергируемые полимерные порошки это сухие порошки органических полимеров, способные при диспергировании в воде образовывать устойчивые водные дисперсии. Применение добавок порошковых полимеров в строительных смесях позволяет при относительно небольших расходах этих компонентов получать строительные растворы с высокими технологическими и эксплуатационными характеристиками.

Опыт применения полимерных порошков за рубежом насчитывает уже многие десятилетия. Практика применения и лабораторные испытания подтверждают стабильность этих материалов в контакте с продуктами гидратации портландцемента и долговечность материалов, включающих их в свой состав. Введение таких порошков в строительные композиции существенно меняет их структуру и, следовательно, может оказывать влияние на такой важный эксплуатационный параметр как паропроницаемость. При этом полимерный компонент и минеральные составляющие строительной композиции обладают значительно отличающимися параметрами температурного расширения. При эксплуатации материалов включающих РПП может возникать существенная зависимость между их паропроницаемостью и температурным режимом.

В настоящей работе исследуется влияние добавки полимерного порошка, обработанного раствором поверхностно-активного вещества катионного типа (КПАВ), и их соотношение на паропроницаемость строительных растворов в широком диапазоне температур.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА МОРОЗОСТОЙКОСТЬ БЕТОНА**

**Б.С. Морозов**

Научные руководители – В.Б. Доброхотов, канд. хим. наук, доцент;

Ю.М. Придатко, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

В строительстве одним из основных материалов является цементный бетон, который находит широкое применение в конструктивных элементах зданий и сооружений. Причиной преждевременного разрушения бетонных и железобетонных конструкций, эксплуатируемых на открытом воздухе, зачастую является их низкая морозостойкость или, говоря техническим языком, несоответствие марки по морозостойкости требованиям нормативных документов.

Морозостойкостью называется способность бетона сохранять прочность и работоспособность при действии попеременного замораживания и оттаивания в насыщенном водой состоянии. Морозостойкость – один из важнейших показателей качества бетона. В нашей стране в связи с ее географическим положением и климатическими условиями морозостойкость является одним из основных показателей долговечности.

В настоящее время для повышения качества бетона и придания ему специальных свойств широко используются различного рода добавки. Введение добавок оказывает влияние на структуру бетона. Следовательно, кроме изменения целевых свойств, добавки в той или иной мере воздействуют на все свойства бетона, в том числе и морозостойкость. Характер и степень воздействия добавок на нецелевые показатели бетона при их производстве не всегда проверяется, а, следовательно, часто не учитываются при проектировании состава бетонной смеси.

Кроме того, важнейшим структурообразующим фактором является заполнитель, и состояние его поверхности на момент приготовления бетонной смеси. От замеса к замесу свойства заполнителей меняются как под действием природных (замачивание/высушивание в теплое время года), так и технологических факторов (термовлажностная обработка смерзшегося заполнителя в зимнее время).

Как известно, морозостойкость может быть определена только в результате непосредственных испытаний, поскольку не существует однозначной пропорциональности между морозостойкостью и другими свойствами бетона. Главным фактором, влияющим на морозостойкость бетона, является его структура. На структуру же в свою очередь оказывают влияние множество внутренних и внешних факторов, таких как состав, условия перемешивания, уплотнения, твердения и так далее.

Целью моего исследования является учет влияния производственных факторов на эффективность применения добавок по параметру морозостойкости.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗВЕСТКОВЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ С ОРГАНИЧЕСКИМ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ**

**В.А. Артемичев, О.А. Никешин**

Научные руководители – В.Б. Доброхотов, канд. хим. наук, доцент;

Ю.М. Придатко, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

Воздушная известь имеет широкое распространение как в качестве вяжущего, так и в качестве пластификатора для цементно-песчаных минеральных строительных смесей. Достоинствами получаемых с применением извести строительных растворов являются: высокая технологичность (прежде всего – пластичность), достаточная прочность, хорошая адгезия к различным типам основания, высокая паропроницаемость, экономичность. Наиболее распространённым на практике способом получения известковых растворов является гашение комовой строительной извести и последующее смешивание полученного известкового теста с песчаным заполнителем в различных пропорциях. Плотность известкового теста является одним из наиболее значимых параметров, определяющих технологические и прочностные свойства известковых растворов.

На свойство известкового теста оказывают влияние химический и гранулометрический состав исходной комовой негашёной извести, интенсивность перемешивания в гасильном барабане, продолжительность отстаивания полученной дисперсии и т.д.

Экономическая эффективность технологии производства строительных растворов определяется параметрами процессов гашения извести и формирования известкового теста. Поэтому актуальной является задача интенсификации указанных технологических процессов. Расширенное применение известковых строительных растворов требует совершенствования технологии их производства, в том числе за счёт улучшения качественных показателей известкового теста.

Одним из путей достижения оптимальных параметров технологии производства может являться применение для гашения вместо воды растворов, содержащих органические вещества различного типа. Поэтому целью исследования является разработка технологии получения известково-древесных растворов на основе использования продуктов микробного синтеза. При этом получение растворов биополимера является малоэнергозатратным и экологически чистым, т.к. для их производства используются только естественные природные продукты и процессы.

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕНОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ**

**А.В. Гаврилов, А.Д. Алоян**

Научные руководители – В.Б. Доброхотов, канд. хим. наук, доцент;

Ю.М. Придатко, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

В настоящее время в строительстве все большее распространение получают различные виды легких бетонов. Такие материалы оказываются весьма востребованными ввиду необходимости существенного повышения энергоэффективности зданий и сооружений при их эксплуатации. Пенобетон и изделия на его основе являются одними из наиболее перспективных видов ячеистых материалов, ввиду экономичности и технологической простоты их производства. Однако существенным препятствием для более широкого применения пенобетонных изделий являются: во-первых, обратная зависимость между показателями теплопроводности и прочностью такого материала, а во-вторых – сложность обеспечения стабильного воспроизведения оптимальной структуры материала и, следовательно, необходимых эксплуатационных свойств при массовом производстве. В результате на сегодня из-за невысоких прочностных характеристик и нестабильного качества изделий в основном из пенобетона возводятся только малоэтажные здания или ненесущие конструкции ограждения. Но, несмотря на это, пенобетон имеет огромный потенциал развития и множество положительных качеств.

Для приготовления пенобетона обычно используют цементно-песчаные композиции с добавлением вспенивающих добавок различного состава.

Для приготовления пенобетона мы использовали: кварцевый песок крупностью менее 0,6 мм, портландцемент М500D0 и пенообразователь катионного типа (от 0.2% до 1% от массы цемента).

Приготовление смеси осуществлялось с использованием малогабаритного миксера при различных режимах интенсивности перемешивания. Целью настоящего этапа исследования является установление рационального состава смеси для последующего изучения возможности ее модификации и определение взаимосвязи плотности получаемого материала и параметров приготовления исходной композиции в заданных условиях.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ НА СВОЙСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ СТЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**А.А. Виноградов, А.В. Воронцов, И.В. Гурина**

Научные руководители – В.Б. Доброхотов, канд. хим. наук, доцент;

Ю.М. Придатко, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

Постепенное истощение запасов минерального сырья высокого качества, необходимого для производства керамических строительных материалов, при одновременном повышении требований нормативной базы к физико-механическим характеристикам кирпича влечет за собой необходимость совершенствования технологии производства строительной керамики. В настоящее время существует два основных способа формования строительной керамики: способ пластического формования (формовочная масса представляет собой пластичное тесто влажностью 20%) и способ полусухого формования (формовочная масса представляет собой пресс-порошок влажностью до 10%).

Введение в пресс-порошок недорогой биотехнологической добавки, получаемой способом биохимического синтеза и обладающей ярко выраженными пластифицирующими свойствами, позволяет понизить его вязкость при минимальной влажности формовочной массы (до 6%). Благодаря этому повышается качество уплотнения минеральных частиц при формовании изделий на прессе, что благоприятно сказывается на прочности сырца. Так же улучшается спекаемость частиц при обжиге, что, в свою очередь, приводит к повышению физико-механических характеристик готовых изделий: прочности и морозостойкости. Кроме того, переход к низкой влажности формовочной массы позволит существенно сократить время сушки сырца при производстве керамического кирпича. Это приведет к снижению энергозатрат и, в конечном счете, позволит уменьшить стоимость готового изделия. Так же сокращение времени сушки позволит повысить производительность технологической линии производства керамического кирпича. Для внедрения подобной технологии не требуется серьезных затрат на изменение существующей технологической линии производства керамического кирпича способом полусухого формования.



## **УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ**

**М.О. Атаманычева, К.С. Самойлова**

Научный руководитель – В.Б. Доброхотов, канд. хим. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Гидроизоляция - защита строительных конструкций, зданий и сооружений от проникновения или материала сооружений от вредного воздействия омывающей или фильтрующей воды или др. агрессивной жидкости.

Гидроизоляционные строительные материалы — это материалы, обладающие комплексом параметров и характеристик, определяющих сопротивление проникающему действию воды, источником которой могут быть атмосферные осадки, грунтовые воды, гигроскопическая и капиллярная конденсация, или прямой контакт с водой в случае гидротехнических сооружений.

При эксплуатации различных зданий и сооружений часто возникает потребность в восстановлении поврежденной или неэффективно работающей горизонтальной гидроизоляции. Это может быть связано с увеличением планировочных отметок грунта вокруг зданий, повышением уровня грунтовых вод или с деструкцией гидроизоляционных материалов, что влечет за собой непосредственный контакт воды со стенами. Кладка из-за повышенной влажности подвергается химическим и биологическим повреждениям, увеличиваются теплопотери. Влажная стена промерзает, что в дальнейшем ведёт к ускоренному её разрушению. В этом случае актуальной является проблема разработки технологии восстановления горизонтальной гидроизоляции, т.е. применение методов предупреждения капиллярного увлажнения стеновых материалов и соответственно предотвращение дальнейшее их разрушения.

Целью нашей работы является усовершенствование технологии восстановления горизонтальной гидроизоляции зданий путём инъецирования с применением модифицированных минеральных составов.

Пропиточные составы реализуют идею защиты и изоляции материала путем интеграции пропиточного материала в поры и таким образом их кольматации. Инъецируемые составы могут проникать на глубину от одного до нескольких десятков мм (в зависимости от пористости материала, расхода пропиточного состава и условий выполнения работ), заполняя поры и трещины, полимеризуются и становятся надежным изолирующим слоем на пути влаги, жестко зацепленным за обрабатываемый материал.

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕНОПОЛИСТИРОЛБЕТОНА**

**И.С. Пинчук**

Научный руководитель – В.Б. Доброхотов, канд. хим. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Пенополистиролбетон – это один из современных видов легкого бетона. Его однородная ячеистая структура образуется частицами пенополистирола размером 1-5 мм. При этом плотность такого бетона варьируется в диапазоне от 150 до 600 кг/м<sup>3</sup>. Устойчивый интерес к этому строительному материалу вызван необходимостью повышения термического сопротивления ограждающих конструкций зданий. Так же стоит отметить высокие показатели морозостойкости, пожароустойчивости, долговечности. Пенополистиролбетон при этом обладает малой паропроницаемостью. В качестве заполнителя обычно используются зерна вспененного пищевого пенополистирола, что подтверждает экологическую чистоту материала.

Целью исследования пенополистиролбетона является оценка возможности улучшения прочностных характеристик такого материала. Рассматривается вариант применения бетона в виде блоков стандартных размеров. Монолитный вариант применения пенополистиролбетона ограничен, ввиду высокой вероятности расслоения пенополистирол-бетонной смеси при ее укладке в опалубку.

Для возможного улучшения прочностных характеристик бетона, принято решение применить метод самоуплотняющихся масс. Сущность этого метода заключается в следующем. Формовочную смесь, состоящую из раствора вяжущего и подвспененных зерен полистирола, помещают в замкнутый объем и подвергают тепловой обработке. Зерна полистирола, довспениваясь и увеличиваясь в размере, создают внутреннее давление в массе. За счет добавок смесь предварительно вспенивается. В результате равномерно по всему объему происходит уплотнение бетонной смеси. Тепловую обработку таких масс можно осуществлять в пропарочных камерах, автоклавах, сушилках, обогреваемых пресс-формах. Однако лучшие результаты получаются при применении электропрогрева.

Для решения поставленной задачи необходим подбор оптимального режима тепловой обработки приготавливаемой смеси в зависимости от ее состава и условий перемешивания.

## **МОДИФИКАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ РЕДИСПЕРГИРУЕМЫМИ ПОЛИМЕРНЫМИ ПОРОШКАМИ**

**А.В. Горчакова**

Научный руководитель – В.Б. Доброхотов, канд. хим. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Современное энерго-ресурсосберегающее строительство предъявляет особые требования к используемым материалам. В условиях значительного увеличения цен на энергоносители необходимость возведения зданий и сооружений, в полной мере отвечающих современным теплотехническим нормам и требованиям, представляется особенно актуальной. При этом обеспечить заданные значения термического сопротивления можно только с помощью высокоэффективных в теплотехническом отношении материалов.

Для решения поставленной задачи в последние годы промышленностью освоен выпуск различных видов кладочных материалов с улучшенными теплотехническими характеристиками. К ним относятся: различные модификации облегченного керамического и силикатного кирпича, блоки из легкого керамзитобетона, пенобетона, газосиликата и т.п. Однако термическое сопротивление стены определяется теплопроводностью не только кладочного материала, но и используемого строительного раствора. Применение традиционных растворов в сочетании с улучшенными в теплотехническом отношении стеновыми материалами существенно снижает эффективность использования последних.

Улучшение теплотехнических характеристик строительных растворов может быть достигнуто различными способами. Например, с помощью применения химических добавок: воздухововлекающих, газообразующих, пенообразующих. Также возможно применение различных видов лёгких заполнителей: керамзитового, перлитового песка, древесных опилок, а также возможно применение различных отходов производства. Однако обычно эти способы сопровождаются ухудшением технологических характеристик растворных смесей (водоудерживающая способность, подвижность, адгезия к кладочным материалам и т.п.).

Новый способ получения облегченных строительных растворов – применение добавок полимерных порошков. Данный подход может не только улучшить теплотехнические свойства строительного раствора, но и позволит получить растворные смеси с хорошими технологическими характеристиками.

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УСТРОЙСТВА КОМПЛЕКСНЫХ ПАРОИЗОЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ**

**Е.В. Нозикова**

Научный руководитель – В.Б. Доброхотов, канд. хим. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Наиболее актуальной и трудоемкой задачей, решаемой в технологии строительного производства – это гидроизоляция и пароизоляция, т.е. предотвращение замачивания конструкций в процессе эксплуатации, и, как следствие, увеличение сроков службы зданий и сооружений различного назначения.

Гидроизоляционная защита наиболее часто применяется в подземных сооружениях: в подвальных частях различных зданий, нуждающихся в противофильтрационной защите, так как они расположены либо ниже уровня грунтовых вод, либо в зоне капиллярного увлажнения грунтов, а также в зданиях с цокольными этажами. При этом пароизоляция обычно актуальна в жилых и общественных зданиях для защиты теплоизоляционного слоя ограждающих конструкций от конденсации водяных паров.

На сегодняшний день известны различные виды гидро- и пароизоляции и соответственно значительное количество материалов для ее устройства, поэтому выбор рационального технического решения при возведении зданий и сооружений должен учитывать интересы заказчика: невысокие затраты на материал при наилучших эксплуатационных характеристиках, минимальные сроки производства работ, малая трудоемкость на строительной площадке, значительный срок службы и эффективной защиты конструкций в процессе эксплуатации.

Учитывая данные факторы, одним из наиболее эффективных технических решений является обмазочный вид изоляции из мастичных составов, который отличается низкой проницаемостью, долговечностью, бесшовным нанесением на изолируемые поверхности. Важным резервом повышения эффективности производства является создание комплексных систем, сочетающих свойства гидро- и пароизоляции с защитными и отделочными функциями.

Поэтому целью нашей работы является совершенствование технологии устройства мастичной пароизоляции, особенно в зданиях с мокрым режимом эксплуатации, и получение на этой основе комплексных покрытий.

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ МОДИФИКАЦИИ КЕРАМИЧЕСКИХ МАСС БИОПОЛИМЕРНЫМИ ДОБАВКАМИ**

**И.В. Гурина**

Научные руководители – В.Б. Доброхотов, канд. хим. наук, доцент;

Ю.М. Придатко, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

Долговечность и прочность кирпича, широта распространения и экологичность, удобство в применении и хороший микроклимат помещений, а также возможность использования кирпичной стены как самостоятельного архитектурного элемента является важными аргументами при выборе современного стенового материала.

В России производят в основном кирпич двух способов формования: полусухого и пластического. Их основным отличием является различное содержание влаги в сырьевой смеси. В первом случае влажность глины составляет 17-30%, а во втором – 8-12%. Метод полусухого прессования менее распространен. Однако он позволяет использовать малопластичные глины, сократить расход топлива на сушку сырца. Поэтому себестоимость кирпича, полученного методом полусухого прессования, ниже, чем кирпича, полученного методом пластического формования. Однако такие изделия обладают обычно большей плотностью, что ухудшает ряд их эксплуатационных характеристик (теплопроводность, морозостойкость и т.д.) Одним из путей решения проблемы является переход от полусухого к сухому способу формования. Но для этого необходимо решить несколько взаимосвязанных технических проблем: получить изделия отвечающего необходимым требованиям по плотности, прочности и морозостойкости при одновременном снижении формовочной влажности сырья и обеспечении необходимых параметров прочности сырца без существенных изменений технологического процесса и оборудования.

Решение поставленной задачи возможно, если ввести в состав пресс-порошка модифицирующие компоненты: пластификатор, который обеспечил бы при влажности менее 6% необходимые пластические свойства массы при прессовании, добавку для придания сырцу связности в условиях низкой влажности, выгорающую добавку для снижения массы изделий и повышения их морозостойкости за счет формирования резервного объема крупных пор. По-видимому, решающим фактором является подбор компонентов обладающих необходимыми свойствами комплексного характера и обеспечивающих требуемый эффект при небольших дозировках. Предполагаемым составом обеспечивающим такой комплексный эффект является использование биополимерных продуктов.

## СЕКЦИЯ «ФИЗИКА И МАТЕМАТИКА»

УДК 51-37, 51-74

### МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА КОМПЬЮТЕРНОЙ АППРОКСИМАЦИИ ДАННЫХ

А.В. Андрущенко

Научный руководитель – В.А. Короткий, канд. физ.-мат. наук, доцент  
*Рыбинский государственный авиационный технический  
университет им. П. А. Соловьева*

В работе рассматривается проблема аппроксимации данных профиля лопатки газотурбинного двигателя, разрабатываемого в Рыбинском научно-производственном объединении «Сатурн». Этот профиль описывается набором двумерных точек:

Необходимо получить уравнение кривой, наилучшим образом описывающей профиль лопатки по этим точкам.

Для решения задачи применён метод наименьших квадратов.

Чтобы быстро и точно выполнять все вычисления, был составлен алгоритм в среде Wolfram Mathematica. Затем на его основе разработана компьютерная программа «Аппроксиматор», в которой в качестве аппроксимирующих функций использованы «обобщённые полиномы» с рациональными (в том числе отрицательными) показателями.

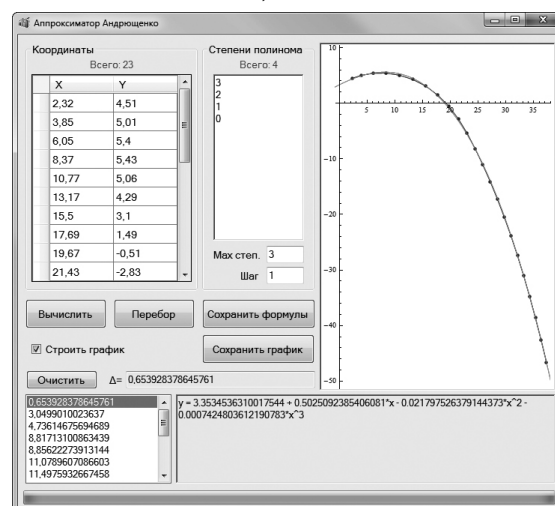
Программа позволяет вычислить оптимальные значения коэффициентов для «обобщённых полиномов» различных степеней.

Есть возможность выполнить перебор всех возможных вариантов полинома с заданными степенями, чтобы найти наилучший результат. Например, для полинома шестой степени, результат имеет вид:  
$$y = -1.691078949848355 \cdot 10^{-7} \cdot x^6 + 0.000020062427575444664 \cdot x^5 -$$
  
$$- 0.000901734135182409 \cdot x^4 + 0.018256397248581975 \cdot x^3 -$$
  
$$- 0.20913488018124074 \cdot x^2 + 1.251001182536984 \cdot x + 2.498106335849197.$$

Сумма квадратов отклонений точек от полученной кривой  $\Delta = 0.0817099924347289$ .

По полученным данным можно автоматически построить график. Есть возможность сохранения всех результатов работы в файл.

К программе разработана подробная инструкция, позволяющая даже неподготовленному работнику легко осуществлять расчёты высокой точности.



## **ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛЯРИЗАТОРОВ В СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ**

**Н.С. Выборнов, М.Р. Аджоян**

Научный руководитель – Н.А. Седьмов, канд. физ.-мат. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

**Поляриза́тор** - устройство, предназначенное для получения полностью или частично поляризованного оптического излучения из излучения с произвольным состоянием поляризации.

Область их применения широка:

1. В кристаллографии и петрографии для исследования свойств кристаллов.
2. В оптической промышленности для определения напряжений в стекле.
3. В машиностроении и приборостроении для изучения методом фотоупругости напряжений в деталях машин и сооружений.
4. В медицине; в химической, пищевой, фармацевтической промышленности для определения концентрации растворов.
5. Для изучения ряда явлений в электрическом и магнитном поле.

Мы можем наблюдать их в современных гаджетах, таких как смартфоны, навигаторы, фотокамеры, а также 2- и 3D-телевизоры.

Ученые **Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе (UCLA)** представили свой проект по применению фотоэлектрических поляризаторов в экранах смартфонов. Данная технология позволит создавать самозаряжающийся смартфон.

Идея ученых из UCLA состоит в том, что поглощающие свет панели размещаются прямо на экране устройства (смартфона или планшета). При этом, они поглощают свет не только с внешних источников (как это сейчас и делается в подобных панелях), но и часть подсветки сенсорного экрана!

И мы можем сделать выводы о том, что изучение поляризаторов и активное внедрение их в современные технологии, может заметно улучшить и облегчить нашу жизнь, и помочь нам экономить на электроэнергии.

## ЦИКЛ КАРНО

**А.Е. Гомонов**

Научный руководитель – П.А. Иванов, канд. физ.- мат. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Цикл Карно – это обратимый круговой процесс, состоящий из двух адиабатических и двух изотермических процессов.

В процессе Карно термодинамическая система выполняет механическую работу и обменивается теплотой с двумя тепловыми резервуарами, имеющими постоянные, но различающиеся температуры. Резервуар с более высокой температурой называется нагревателем, а с более низкой температурой – холодильником.

Цикл Карно назван в честь французского учёного и инженера Сади Карно, который впервые его описал в своём сочинении «О движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу» в 1824 году.

Мощность тепловой машины в цикле Карно равна нулю. Мощность реальных тепловых машин не может быть равна нулю, поэтому реальные процессы могут приближаться к идеальному обратимому процессу Карно только с большей или меньшей степенью точности. В цикле Карно тепловая машина преобразует теплоту в работу с максимально возможным коэффициентом полезного действия из всех тепловых машин, у которых максимальная и минимальная температуры в рабочем цикле совпадают соответственно с температурами нагревателя и холодильника в цикле Карно.

Пусть тепловая машина состоит из нагревателя с температурой  $T_n$ , холодильника с температурой  $T_x$  и рабочего тела. Цикл Карно состоит из четырёх обратимых стадий, две из которых осуществляются при постоянной температуре (изотермически), а две – при постоянной энтропии (адиабатически). Поэтому цикл Карно удобно представить в координатах  $T$  (температура) и  $S$  (энтропия).



**МАХОВИКИ В ТЕХНИКЕ****А.Н. Дубовик**

Научный руководитель - Н.А. Седьмов, канд. физ.- мат. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Маховики появились тогда же, когда и колёса, почти 6500 лет назад. Первый из маховиков был изготовлен древними шумерами. Об этом говорит находка, сделанная в 1929 году в Урском могильнике в Месопотамии (современный Ирак) известным археологом Леонардом Вулли.

Сейчас маховик - неизменная часть каждой машины. Без него не будет работать ни двигатель, ни швейная машина, ни прокатный стан, ни магнитофон.

Маховик или маховое колесо, тяжёлое колесо на валу двигателя или другой машины, выравнивающее её ход. Размеры и масса маховика обычно определяются допустимыми отклонениями от номинальной частоты вращения и той энергией, которую он должен отдавать машине в заданное время. Маховики бывают разных размеров. Самый маленький маховик - шарик ультрацентрифуги диаметром 0,8 мм, а один из самых больших - стотонный, диаметром 7 м маховик прокатного стана. Создавая новые маховики, конструкторы работают в основном над улучшением энергоемкости и безопасности.

Энергия, аккумулируемая маховиком, пропорциональна его массе и квадрату скорости его вращения. Поскольку скорость выше, чем больше удаление массы от оси вращения, маховику обычно придают форму колеса с массивным ободом. Энергия сообщается машине первичным двигателем, например электрическим или внутреннего сгорания. В период пониженной нагрузки только часть входной энергии затрачивается на полезную работу, а остальная часть аккумулируется маховиком, который ускоряется до скорости, превышающей среднюю. На участке же цикла машины, требующем повышенной энергетической отдачи, маховик замедляется, отдавая накопленную кинетическую энергию. Это позволяет применять привод меньшей мощности. Чугунные маховики имеют окружную скорость несколько метров, а супермаховики из стеклянного и кварцевого волокна - до километра в секунду. У иных маховиков мощности хватает лишь на сглаживание пульсации ленты портативного магнитофона, у других же накапливается столько же энергии, сколько ее не заключено в бомбе того же веса. Кинетическая энергия, накопленная в маховике, рассчитывается по формуле  $E = \frac{1}{2} I \omega^2$ , где  $I$  – момент инерции относительно оси вращения маховика, а  $\omega$  – угловая скорость.

# БЫСТРОЕ УМНОЖЕНИЕ МАТРИЦЫ С БОЛЬШИМ МУЛЬТИПЛИКАТИВНЫМ ПОРЯДКОМ НА ВЕКТОР НАД КОНЕЧНЫМ ПОЛЕМ

Д.М. Иванов

Научный руководитель – Л.С. Казарин, д-р физ.-мат. наук, профессор  
*Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова*

Рассмотрим линейную рекуррентную последовательность  $\{\vec{v}_k\}_{k \geq 0}$  из векторов  $\vec{v}_k$  длины  $n$  над конечным полем из  $q$  элементов  $\mathbb{F}_q$ , для которой верно соотношение  $\forall k \in \mathbb{N} \quad \vec{v}_{k+1} = Y\vec{v}_k$ , где  $Y$  – это  $n \times n$ -матрица из  $GL_n(q)$  – группы обратимых  $n \times n$ -матриц над полем  $\mathbb{F}_q$ . Период этой последовательности будет равен мультипликативному порядку матрицы  $Y$ , который обозначается как  $o(Y)$ , то есть наименьшему натуральному  $m$  такому, что  $Y^m = I_n$ , где  $I_n$  обозначает  $n \times n$ -матрицу с единицами на диагонали и с нулями на остальных позициях. Максимально возможным значением для  $o(Y)$  будет  $q^n - 1$ .

Решалась задача построения матрицы  $Y$  с большим мультипликативным порядком, которая позволяла бы вычислять элементы последовательности за меньшее количество арифметических операций, чем стандартное умножение матрицы на вектор, и при этом порождала бы последовательности с большим периодом.

Главный результат звучит следующим образом. Пусть  $n = st$ ,  $1 < s, t < n$ . Тогда существуют  $s \times s$ -матрицы  $A_1, A_2, \dots, A_s$  и  $t \times t$ -матрицы  $B_1, B_2, \dots, B_s$  над полем  $\mathbb{F}_q$  такие, что матрица  $Y = \sum_{i=1}^s A_i \otimes B_i$  из  $GL_n(q)$  имеет мультипликативный порядок  $\frac{q^{st}-1}{(s, q^t-1)}$ , где  $\otimes$  обозначает произведение Кронекера.

Особенности выбранных для построения матриц  $A_i, B_i$  и сам вид матрицы  $Y$  позволяют находить следующий элемент последовательности  $\{\vec{v}_k\}_{k \geq 0}$  за  $st^2 + 2st - s - t$  сложений и  $st^2 + st$  умножений, что значительно меньше, чем при использовании стандартного алгоритма умножения матрицы на вектор, который требует  $s^2t^2 - st$  сложений и  $s^2t^2$  умножений. Замечу также, что либо  $s$ , либо  $t$  будет меньше, чем  $\sqrt{n}$ , из чего можно получить асимптотическую оценку  $O(n^{3/2})$  для числа умножений и сложений.

Кроме того, некоторые вычисления можно будет проводить параллельно, что дополнительно сократит время, необходимое для нахождения следующего элемента последовательности.

## GPS-НАВИГАЦИЯ

**А.А. Клепцов, А.Д. Голованов**

Научный руководитель – А.Н. Седьмов, канд. физ.-мат. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Global Positioning System (GPS) - Система Глобального Позиционирования. GPS-навигаторы – это сложные устройства, которые включают в себя целый ряд функций, таких как определение местоположения, поиск этой точки на карте, определение наиболее удобного маршрута и информацию о том, что может быть важным во время путешествия.

Сегодня система GPS включает в себя комплекс устройств, работающих на орбите и на поверхности Земли: 29 спутников 4 наземные станции слежения 3 станции связи 1 центр управления наземным комплексом.

Спутники расположены вокруг Земли таким образом, что в любой момент движения из любой точки Земли возможна прямая связь с 5-12 спутниками. Главная составляющая данных – это точное время отправки и получения сигнала со спутника. Точность данных, получаемых навигаторами со спутников такова, что управлять самолетом в условиях нулевой видимости становится вполне реально.

Виды GPS-навигаторов: портативные GPS-навигаторы, автомобильные GPS-навигаторы, радиостанции с GPS-навигатором.

Устройство GPS-навигатора черный квадратик - чуть побольше ногтя мизинца. Эта микросхема и есть главная деталь навигатора, его сердце. Внутри пластика запечатан полупроводниковый чип, или кристалл. Его составные элементы измеряются десятymi, а то и сотыми долями микрона - это, для сравнения, уровень, в сотни раз меньший, чем толщина волоса (40-150 микрон). В каждом из нескольких тысяч кристаллов интегральной схемы, расположенных на кремниевой пластине, скоммутированы десятки миллионов таких полупроводниковых элементов.

Что бы определить свое положение, приемник пользователя должен определить расстояние до 3-х спутников, пусть расстояние до 1-го из спутников будет расстояние  $X$  километров, тогда приемник должен находиться на воображаемой зеленой сфере, с центром, в точке нахождения спутника и радиусом  $X$ . если приемник измеряет расстояние до 2-го спутника и построит соответствующую сферу, то положение приемника находится на одной из точек пересечения этих сфер, две сферы пересекаются по окружности, для наглядности обозначим ее красным цветом. Вычислив расстояние до 3-го спутника, Приемник строит 3-ю сферу и определяет 2 точки пересечения с красной окружностью, видно, что одна из точек находится за пределами земли, и ее можно вычеркнуть, а значит можно точно определить, где находится приемник.

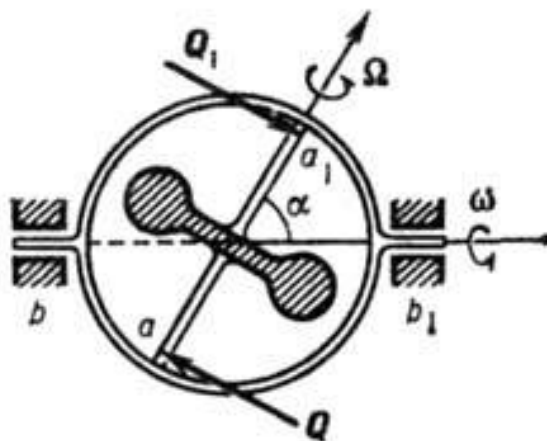
## ГИРОСКОП

**Е.В. Ковалева**

Научный руководитель – П.А. Иванов, канд. физ.-мат. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Гирискоскоп изобрёл Иоганн Боненбергер и опубликовал описание своего изобретения в 1817 году.

Принцип действия гироскопа основан на быстром вращении твёрдого тела, имеющего ось вращения. Скорость вращения гироскопа при этом значительно больше скорости поворота его оси. Основным свойством гироскопов является способность четко сохранять в пространстве постоянное направление своей оси вращения и при этом отсутствует воздействие на эту ось момента внешней силы.



**Рис 1. Гироскоп с двумя степенями свободы**

Впервые такое свойство показал Фуко в 1852 году, когда он экспериментально демонстрировал вращение планеты Земля. Именно из-за этой демонстрации вращения твёрдого тела гироскоп и получил такое название.

Основные области применения судоходство, авиация и космонавтика. Морские суда дальнего плавания снабжены гироскопом для управления судном. Существует также спортивный гироскопический тренажёр. Ряд радиоуправляемых вертолётос использует этот прибор.

## ГИПОТЕЗА КВАРКОВ

**И.В. Коледов**

Научный руководитель – П.А. Иванов, канд. физ.-мат. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Актуальность данной проблематики обусловлена стремлением человека понять устройство мира и объяснить окружающие его явления. В настоящее время создана теория, так называемая квантовая хромодинамика, описывающая поведение кварковых систем.

Вообще, число элементарных частиц (включая нестабильные частицы - резонансы) вместе с античастицами в несколько раз превышает число элементов периодической системы Менделеева, поэтому становится довольно бессмысленным считать их элементарными.

Самой удачной попыткой навести порядок в мире элементарных частиц является создание гипотезы о существовании нескольких фундаментальных частиц, названных кварками, из которых можно составить любую сильновзаимодействующую частицу, причем такие "составные" частицы будут обладать всеми основными свойствами реальных частиц.

К настоящему времени установлено существование пяти разновидностей (или так называемых ароматов) кварков:  $u$ ,  $d$ ,  $s$ ,  $c$ ,  $b$ . Неоднократно поступали предварительные сообщения об открытии  $t$ -кварка, но окончательно существование  $t$ -кварка еще не установлено. Каждому кварку соответствует свой антикварк.

Согласно гипотезе цвета, кварков не шесть, а восемнадцать: каждый из шести кварков может быть трех возможных цветов. Для видов кварков введен термин «аромат» (flavour): существуют кварки шести ароматов (запахов) и трех цветов. Впрочем, можно принять число цветов равным не трем, а четырем, если добавить к кваркам лептоны.

Может показаться, что наличие цвета усложняет картину кварк-лептонной симметрии. На самом деле, именно цвет обуславливает сильное взаимодействие, удерживающее кварки в адронах. Цвет для сильного взаимодействия кварков играет такую же роль, как электрический заряд для электромагнитного взаимодействия. Введение цвета позволяет построить калибровочную теорию сильных взаимодействий - квантовую хромодинамику.

Известны успехи квантовой электродинамики, ее точное соответствие экспериментальным данным; ее методами не только рассчитывают различные процессы (рассеяние электронов и фотонов, испускание и поглощение света), но и весьма тонкие эффекты, связанные с влиянием поляризации вакуума.

## ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА НА ВОЛНОВОЕ ДВИЖЕНИЕ ЖИДКОСТИ, ПОКРЫТОЙ ПЛЕНКОЙ ПАВ

А.В. Кондратьева

Научный руководитель – Д.Ф. Белоножко, д-р физ.-мат. наук, профессор  
*Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова*

Исследовалось волновое движение на поверхности вязкой жидкости с плотностью  $\rho$ , коэффициентом вязкости  $\nu$ , коэффициентом поверхностного натяжения  $\gamma$ , упругостью пленки поверхностно-активного вещества  $\varepsilon$ , поверхностной плотностью электрического заряда  $\sigma$ . Рассматривалась задача исследования влияния электрического заряда на спектр волновых движений, реализующихся на поверхности жидкости, покрытой пленкой ПАВ.

В математической формулировке задачи в первом приближении по амплитуде волны неизвестными являются функции горизонтальной и вертикальной компоненты скорости, давления внутри жидкости, отклонения от равновесной формы поверхности жидкости, электрического потенциала, которые ищутся в виде бегущей волны. Вид функций определяется из уравнений Навье – Стокса, непрерывности, уравнения Лапласа для электрического потенциала. При подстановке неизвестных функций в граничные условия получается однородная СЛАУ на константы, входящие в искомые функции, которая имеет ненулевое решение при равенстве нулю ее определителя. Записывается дисперсионное уравнение, для которого проводится стандартная процедура обезразмеривания. В обезразмеренную среднюю частоту волнового движения входит параметр Тонкса – Френкеля,  $W$ , характеризующий отношение электрических и лапласовских сил на гребнях волн. Значение коэффициента вязкости в задаче  $\nu = 0,01$ . Оптимальное значение обезразмеренного волнового числа  $k' = 1$  ( $W_* = 2$ , капиллярно-гравитационные волны устойчивы).

Когда жидкость покрыта пленкой ПАВ, в жидкости распространяется два типа волн: капиллярно-гравитационные и волны Марангони, взаимодействие которых сводится к тому, что волны Марангони уменьшают инкремент нарастания неустойчивости капиллярно-гравитационных волн. Эффект сильнее проявляет себя при упругости пленки  $\varepsilon \approx -0,22$ .

Выводы: при увеличении электрического заряда на поверхности жидкости, выявлено, что максимум модуля декремента затухания капиллярно-гравитационных волн смещается в область больших значений коэффициента упругости пленки ПАВ. Частота капиллярно-гравитационных волн с увеличением заряда на поверхности жидкости уменьшается. Электрический заряд на поверхности жидкости слабо влияет на частоту и декремент затухания волн Марангони.

# ДИНАМИКА ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАГРУЖЕННОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ПРИ ПРЕРЫВНОМ ПЕРИОДИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

**А.С. Модин, А.В. Шарыпова, А.А. Коломоец**

Научный руководитель – А.А. Коломоец, канд. физ.-мат. наук, доцент  
*Саратовский государственный технический университет  
им. Ю.А. Гагарина*

Потребности машиностроительной, авиационной, космической, строительной и глубоководной техники приводят к необходимости исследования поведения замкнутой цилиндрической оболочки при действии неравномерного внешнего давления. Разнообразие явлений, присущих указанному виду нагружения, оказалось столь велико, что исследования их продолжаются. Целью данной работы является исследование влияния предварительного статического нагружения внешним давлением, приложенным к части поверхности несовершенной цилиндрической оболочки, на колебания оболочки при прерывном периодическом нагружении.

Для определения предварительного напряженно-деформированного состояния статически нагруженной оболочки используем уравнения статической теории пологих несовершенных оболочек в смешанной форме

$$D\nabla^4(w - w_0) = \nabla_k^2 \Phi + q, \quad \frac{1}{Eh} \nabla^4 \Phi = -\nabla_k^2(w - w_0). \quad (1)$$

$$\text{Краевые условия} \quad w = 0, \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0, \Phi = 0, \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} = 0 \text{ при } x = 0, l. \quad (2)$$

Для исследования колебаний предварительно нагруженной несовершенной цилиндрической оболочки используем систему дифференциальных уравнений динамики гибких пологих оболочек в смешанной форме

$$D\nabla^4(w - w_0) = \nabla_k^2 \Phi + q - \frac{\gamma h}{g} \left( \varepsilon \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \right), \quad \frac{1}{Eh} \nabla^4 \Phi = -\nabla_k^2(w - w_0). \quad (3)$$

Начальные условия имеют вид

$$w = \dot{w}, \Phi = \dot{\Phi}, \frac{\partial w}{\partial t} = 0, \text{ при } t = 0. \quad (4)$$

Краевые условия имеют вид (2).

Здесь  $\dot{w}$  и  $\dot{\Phi}$  – прогиб и функция усилий, полученные в результате решения задачи (1) – (2).

При решении задачи применены методы Бубнова в высших приближениях и метод Рунге-Кутты. Численно исследована сходимость метода Бубнова. Определен период приложения нагрузки, вызывающий наибольший динамический эффект.

## **О СОВМЕСТНОМ ВЛИЯНИИ ВЕТРА И ПОВЕРХНОСТНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА НА ПЕРЕНОС ВЕЩЕСТВА В ИДЕАЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ**

**А.А. Очиров, И.А. Плевин, Д.Ф. Белоножко**

Научный руководитель – Д.Ф. Белоножко, д-р физ.-мат. наук, профессор  
*Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова*

Исследовалась задача о совместном влиянии двух дестабилизирующих факторов: движения верхней жидкости относительно нижней и избыточного поверхностного электрического заряда оказываемом на среднее дрейфовое движение идеальной жидкости. Построенная математическая модель позволяет сделать количественную и качественную оценку скорости массопереноса. Также выполнена оценка критических параметров, превышение которых гарантирует переход к неустойчивости. Постановка задачи выглядит следующим образом: нижнее полупространство занимает идеальная идеально проводящая жидкость, верхнее полупространство занимает идеальная диэлектрическая жидкость, по границе раздела, по которой равномерно распределен электрический заряд, распространяется капиллярно-гравитационная волна малой амплитуды. Задача решалась методом разложения по малому параметру. В аналитическом виде получено уравнение нейтральной устойчивости, определяющее переход от устойчивого состояния жидкости к совместной неустойчивости Кельвина-Гельмгольца и Тонкса-Френкеля. Было обнаружено наиболее неустойчивое волновое число  $k_*$ . Установлено, что совместная реализация неустойчивости Тонкса-Френкеля (связанной с избыточным электрическим зарядом на поверхности) и Кельвина-Гельмгольца (вызванной движением верхней жидкости относительно нижней) наступает при заметно меньших значениях критических параметров по сравнению с классической теорией этих неустойчивостей. Получены расчетные выражения для скорости дрейфа при докритических значениях параметров задачи. Дрейфовая скорость уменьшается с увеличением электрического заряда и скорости ветра. Причем, чем выше скорость ветра, тем быстрее происходит уменьшение скорости массопереноса. Обнаружилось, что при движении верхней жидкости относительно нижней скорость переноса вещества обращается в нуль только при условии реализации аperiodической неустойчивости Тонкса-Френкеля. Отметим, что с увеличением скорости ветра возрастает и минимальное значение скорости дрейфа. Это можно объяснить природой дрейфа Стокса и тем, что неустойчивость Кельвина-Гельмгольца развивается по периодическому закону.



## НЕЛИНЕЙНОЕ РЕЗОНАНСНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВОЛН В СЛОИСТО-НЕОДНОРОДНОЙ ЖИДКОСТИ

Н.А. Петрушов

Научный руководитель – А.И. Григорьев, д-р физ.-мат. наук, профессор  
*Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова*

Решается задача о расчёте характеристик поверхностных и внутренних волн в стратифицированной жидкости. Полагается, что верхней средой является вакуум, напряженность электростатического поля в котором равна  $E_0$ ,  $g$  - ускорение свободного падения. Толщина верхнего слоя идеальной несжимаемой диэлектрической жидкости с массовой плотностью  $\rho_1$  и диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon$  равна  $h$ . Нижняя идеально проводящая идеальная несжимаемая жидкость с плотностью  $\rho_2$  заполняет нижнее полубесконечное пространство (полагаем  $\rho_1 < \rho_2$ ). Коэффициент поверхностного натяжения свободной поверхности верхней жидкости  $\sigma_1$ , а границы раздела сред  $\sigma_2$ .

В аналитических асимптотических расчетах установлено, что в слоисто-неоднородной жидкости, стратифицированной по плотности, имеет место внутреннее нелинейное взаимодействие. Амплитудные множители в решениях второго порядка малости содержат сомножители, которые при определенных значениях физических параметров обращаются в бесконечность, другими словами, являются резонансными. Всего насчитывается восемь нелинейных резонансов. В первых двух резонансных ситуациях мы имеем дело с вырожденным резонансным взаимодействием волн. В третьем и четвертом вырожденных резонансах волны, порождённые на одной из границ, взаимодействуют с волнами, порождёнными другой границей. В последних четырех вторичных комбинационных резонансах волны с частотами, являющимися линейными комбинациями частот волн, порождённых на разных границах, взаимодействуют с вторичными волнами, порождёнными одной из границ.

Были получены эволюционные уравнения для амплитуд волн и системы дифференциальных уравнений первого порядка для каждой резонансной ситуации относительно амплитуд взаимодействующих волн. Решение системы дифференциальных уравнений позволило получить временные зависимости амплитуд волн.

Исследование комбинационных резонансов показало, что взаимодействие реализуется между поверхностными волнами, однако при катализационном влиянии внутренней волны, обусловленной наличием границы раздела сред, которая не меняет своих параметров, но необходима для реализации резонанса.

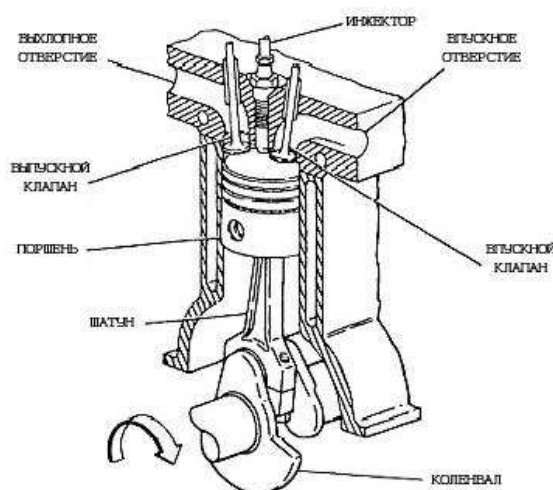
## ДИЗЕЛЬНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

С.В. Плюснина

Научный руководитель – П.А. Иванов, канд. физ.-мат. наук, доцент  
Ярославский государственный технический университет

На первый взгляд дизельный двигатель почти не отличается от обычного бензинового - те же цилиндры, поршни, шатуны. Главные и принципиальные отличия заключаются в способе образования и воспламенения топливо - воздушной смеси. В дизелях приготовление смеси происходит непосредственно в цилиндре. В дизельных двигателях же топливо воспламеняется не от искры, а вследствие высокой температуры воздуха в цилиндре.

СХЕМА ЧЕТЫРЕХТАКТНОГО  
ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ



Рабочий процесс в дизеле происходит следующим образом: вначале в цилиндр попадает чистый воздух, который за счет большой степени сжатия разогревается до 700-900 °С. Дизтопливо впрыскивается под высоким давлением в камеру сгорания при подходе поршня к верхней мертвой точке. А так как воздух уже сильно разогрет, после смешивания с ним происходит воспламенение топлива. Самовоспламенение сопровождается резким нарастанием давления в цилиндре - отсюда повышенная шумность и жесткость работы дизеля. Такая организация рабочего процесса позволяет использовать более дешевое топливо, что определяет более высокую экономичность. Дизель имеет больший КПД (у дизеля – 35-45 %, у бензинового – 25-35%) и крутящий момент. К недостаткам дизельных двигателей обычно относят повышенную шумность и вибрацию, меньшую литровую мощность и трудности холодного пуска.

## ШАРОВЫЕ МОЛНИИ

Д.И. Поздеев

Научный руководитель – П.А. Иванов, канд. физ.-мат. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Существуют около 400 теорий, объясняющих явление, но ни одна из них не получила абсолютного признания в академической среде. В лабораторных условиях похожие, но кратковременные явления удалось получить несколькими разными способами, так что вопрос о природе шаровой молнии остаётся открытым.

Как выглядит шаровая молния?

Уже из самого названия следует, что эта молния имеет форму шара. Строго говоря, ее форма всего лишь близка к шару; молния может вытягиваться, принимая форму эллипсоида или груши, ее поверхность может колыхаться. Будем считать, что шаровая молния - это шар или почти шар. Он светится - иногда тускло, а иногда достаточно ярко. Яркость света шаровой молнии сравнивают с яркостью света 100-ваттной лампочки. Чаще всего шаровая молния имеет желтый, оранжевый или красноватый цвет.

Как она возникает?

В подавляющем большинстве случаев (более 90%) шаровая молния возникает в период грозовой активности. Можно предположить, что она возникает за счет энергии разряда обычной молнии, которая подводится к телефонному аппарату или розетке по подключенным к ним проводам.

О физической природе шаровой молнии.

Если физическая природа линейной молнии была установлена более двухсот лет тому назад, то природа шаровой молнии до сих пор остаётся не разгаданной. Все гипотезы, касающиеся физической природы шаровой молнии, можно разделить на две группы. В одну группу входят гипотезы, согласно которым шаровая молния непрерывно получает энергию извне. К другой группе относятся гипотезы, согласно которой шаровая молния после своего возникновения становится самостоятельно существующим объектом, но все эти гипотезы не так уж и правдоподобны, как кажутся на первый взгляд. Как же быть? Возможный ответ на этот вопрос даёт так называемая кластерная гипотеза, предложенная в 1974 г. И. П. Стахановым. Кластер - это положительный или отрицательный ион, окруженный своеобразной “шубой” из нейтральных молекул. Если ион окружён молекулами воды, его называют гидратированным.

## ГРУППЫ С БОЛЬШОЙ СТЕПЕНЬЮ НЕПРИВОДИМОГО ХАРАКТЕРА

С.С. Поисеева

Научный руководитель – Л.С. Казарин, д-р физ.-мат. наук, профессор  
Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Группу  $G$ , обладающую неприводимым характером  $\chi_0$ , удовлетворяющим неравенству  $2\chi_0(1)^2 > |G|$ , будем называть  $LC$ -группой (от английского large character, т.е. «большой характер»).

Работа посвящена изучению групп с большим неприводимым характером, т.е. выделению некоторых свойств и исследованию структуры  $LC$ -групп.

Основные результаты работы:

*Теорема 1.* Пусть группа  $G$  имеет неприводимый характер  $\chi_0$  степени  $p^m$  ( $p$ -простое число), такой что  $|G| < 2\chi_0(1)^2$ . Если силовская  $p$ -подгруппа  $P$  группы  $G$  абелева и  $P$  имеет порядок  $p^m$ , то характер  $\chi_0$  имеет  $p$ -дефект 0.

*Теорема 2.* Пусть  $G$  –  $p$ -разрешимая  $LC$ -группа и  $\chi_0$  – ее неприводимый характер наибольшей степени. Если силовская  $p$ -подгруппа группы  $G$  абелева, а  $\chi_0 = p^m$  для некоторого натурального числа  $m$ , то  $G$  является  $p$ -нильпотентной группой.

*Теорема 3.* Пусть  $G$  –  $p$ -разрешимая  $LC$ -группа и  $\chi_0$  – ее неприводимый характер наибольшей степени. Если силовская  $p$ -подгруппа  $P$  группы  $G$  абелева, а  $\chi_0 = p^m$  для некоторого натурального числа  $m$ , то подгруппа Фиттинга  $F(G)$  является прямым произведением элементарных абелевых  $q_i$ -групп  $(\pi(F(G))) = \{q_1, \dots, q_s\}, s \geq 1$ , а  $G = F(G) \rtimes P$ .

*Теорема 4.* Пусть  $G$  –  $p$ -разрешимая группа, обладающая абелевой силовской  $p$ -подгруппой и неприводимым характером  $\chi_0$  степени  $p^m$ . Если  $2p^{2m} > |G|$ , то либо  $p$ -простое число Мерсенна и  $G$  – прямое произведение групп Фробениуса порядков  $p(p+1)$ , либо  $p = 2$  и  $G$  прямое произведение групп Фробениуса порядков  $q_i 2^{m_i}$  ( $q_i = 2^{m_i} + 1$ -простое число Ферма) или  $3^2 2^3$  (для  $m_i = 3$ ), где  $\sum_i m_i = m$ .

**ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА. ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ****В.В. Сиднева**

Научный руководитель – П.А. Иванов, канд. физ.-мат. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

В состоянии равновесия системы все термодинамические параметры её постоянны. Если систему вывести из состояния термодинамического равновесия – создать градиент какого-либо параметра, начинают действовать необратимые процессы, стремящиеся вернуть равновесие. Эти процессы называются *явлением переноса*. В результате этих процессов осуществляется пространственный перенос параметров, выведенных из состояния равновесия – массы и (или) импульса, и (или) энергии. Направление потока параметра, в соответствии со 2-м законом термодинамики - в сторону уменьшения градиента.

Установление термодинамического равновесия любого параметра осуществляется посредством *движения молекул* и это является объединяющим фактором явлений переноса. Таким образом, на основании молекулярно-кинетической теории, можно получить общее уравнение переноса, описывающее все три явления:

$$dB = -\kappa \frac{\partial H}{\partial x} dS dt$$

Экспериментальное изучение явлений переноса имеет важное практическое значение при изучении материи, поскольку дает возможность определить ряд важных характеристик молекул реального вещества (в том числе полученного впервые) – среднюю длину свободного пробега и эффективный диаметр.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ ДИНАМИКИ ОДНОЙ МОДЕЛИ ЛАЗЕРА С СИНХРОНИЗАЦИЕЙ МОД

К.А. Ситцова

Научный руководитель – И.С. Кащенко, канд. физ. - мат. наук, доцент  
Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Исследуется модель пассивной синхронизации мод в полупроводниковых лазерах:

$$\left(1 + \gamma^{-1} \frac{d}{dt}\right) A = \sqrt{k} \exp \left\{ \frac{1}{2} [(1 - i\alpha_g)g(t-1) - (1 - i\alpha_q)q(t-1)] - i\varphi \right\} A(t-1),$$

$$\frac{dg}{dt} = \gamma_g (G_0 - g) - \exp(-q) [\exp(g) - 1] |A|^2,$$

$$\frac{dq}{dt} = \gamma_q (Q_0 - q) - s [1 - \exp(-q)] |A|^2.$$

Здесь  $A(t)$  – это комплексная функция,  $g(t)$  и  $q(t)$  – действительные функции. Все параметры модели являются действительными константами, а значения  $k$ ,  $\gamma_g$ ,  $\gamma_q$ ,  $s$  и  $\varphi$  – положительные. Для простоты вычислений, взято  $\alpha_g = \alpha_q = \varphi = 0$ .

В работе исследовано поведение решений в окрестности состояния равновесия  $A=0$ ,  $g=G_0$ ,  $q=Q_0$ , которое соответствует выключенному лазеру. Это состояние равновесия теряет устойчивость при  $\sqrt{k} \exp \left\{ \frac{1}{2} (G_0 - Q_0) \right\} = P_* = \frac{1}{\cos \omega_0}$ ,  $\gamma = \gamma_* = -\frac{\omega_0}{\tan \omega_0}$  ( $\omega_0 \in (\frac{3\pi}{2}, 2\pi)$ ).

Дальнейшее исследование потери устойчивости проводим с помощью метода нормальных форм. Считаем, что при некотором  $\omega_0 \in (\frac{3\pi}{2}, 2\pi)$ ,  $\sqrt{k} \exp \left\{ \frac{1}{2} (G_0 - Q_0) \right\} = P_* + \varepsilon$ ,  $\gamma = \gamma_*$ . Тогда поведение решений в окрестности исходного состояния равновесия описывается глобальной динамикой задачи

$$\frac{dz}{dz} = Mz + Kz|z|^2, \text{ где } \operatorname{Re}(M) > 0, \operatorname{Re}(K) < 0.$$

**Теорема.** При достаточно малом  $\varepsilon$  исходная задача имеет периодическое орбитально устойчивое решение вида

$$A(t) = 2\varepsilon^{\frac{1}{2}} \rho_* \cos(i\omega_0 t(1 + o(1))) + o(\varepsilon^{\frac{1}{2}}), \text{ где } \rho_* = \sqrt{\frac{-\operatorname{Re}\{M\}}{\operatorname{Re}\{K\}}},$$

$$g(t) = G_0 + o\left(\varepsilon^{\frac{1}{2}}\right),$$

$$q(t) = Q_0 + o\left(\varepsilon^{\frac{1}{2}}\right).$$

Таким образом, исходное состояние равновесия при переходе  $P$  через критическое значение  $P_*$  бифурцирует в орбитально устойчивый цикл.

# СТОХАСТИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ПРИ ДЕЙСТВИИ НЕРАВНОМЕРНОГО ВНЕШНЕГО ДАВЛЕНИЯ

**Е.В. Тупикова, А.С. Модин, А.А. Коломоец**

Научный руководитель – А.А. Коломоец, канд. физ.- мат. наук, доцент  
*Саратовский государственный технический университет  
им. Ю.А. Гагарина*

Рассматривается задача о нахождении критической нагрузки для замкнутой цилиндрической оболочки со случайными несовершенствами формы при действии неравномерного внешнего давления  $q$ .

Для решения задачи используем уравнения устойчивости в вариациях

$$D\nabla^4(\Delta w) - \nabla_k^2(\Delta\Phi) - L(w_*, \Delta\Phi) - L(\Phi_*, \Delta w) = 0,$$

$$\frac{1}{Eh} \nabla^4(\Delta\Phi) + \nabla_k^2(\Delta w) - L(w_*, \Delta w) = 0.$$

Здесь  $\Delta w$ ,  $\Delta\Phi$  – малые приращения функций прогиба и усилий при бифуркации равновесных форм. Функции  $w_*$  и  $\Phi_*$  описывают докритические состояния оболочки.

Граничные условия соответствуют случаю шарнирного закрепления оболочки.

Функции  $\Delta w, \Delta\Phi, w_*, \Phi_*$  представлялись в виде двойных тригонометрических рядов.

Непрерывное поле начальных несовершенств задаем следующим образом:

$$w_0 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=0}^M a_{ij} \sin i\pi x \cos jy.$$

Рассматривались равномерное, нормальное и показательное распределения случайных величин при моделировании  $a_{ij}$ .

После применения метода Бубнова в высших приближениях задача сводится к обобщенной проблеме собственных значений относительно параметра нагрузки  $q$ .

Собственные значения находятся с помощью пакета MatLab и QR – алгоритма. Численно исследуется сходимость метода Бубнова. Критической нагрузке соответствует наименьшее положительное собственное значение. Получены зависимости критической нагрузки от вида прикладываемой нагрузки.

## О ВЛИЯНИИ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТЕЙ НА ВНЕШНИЕ И ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ

М.С. Федоров

Научный руководитель – А.И. Григорьев, д-р физ.-мат. наук, профессор  
Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

В данной работе рассматриваются волны на заряженной границе раздела  $z = \xi_2(x, t)$ , и на свободной поверхности  $z = h + \xi_1(x, t)$ , двух несмешивающихся, несжимаемых, вязких жидкостей, где  $\xi_1(x, t)$  и  $\xi_2(x, t)$  – возмущения свободной поверхности слоя и границы раздела сред, соответственно, амплитуды которых  $|\xi_1| \sim |\xi_2| \ll h$  принимаются в качестве малого параметра задачи. Верхняя жидкость – диэлектрик с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon$  имеет толщину  $h$ , кинематическую вязкость  $\nu_1$ , поверхностное натяжение  $\sigma_1$  и плотность  $\rho_1$ , а нижняя – идеальный проводник с поверхностным натяжением  $\sigma_2$ , кинематической вязкостью  $\nu_2$  и плотностью  $\rho_2$  заполняет в поле сил тяжести  $\mathbf{g}$  полубесконечное пространство  $z \leq 0$ .

Задача решается классическими методами гидродинамики в линейном по  $\xi(x, t)$  приближении. Помимо дисперсионного уравнения, которое определяет связь частот волн, бегущих по свободной поверхности и по границе раздела сред, с волновым числом  $k$  и их зависимость от физических параметров задачи, впервые найдено аналитическое выражение для декремента слабовязкой, двухслойной жидкости, которое имеет вид

$$\beta_j = - \frac{2\sqrt{\omega_j} \left[ \sqrt{2} (\omega_j^4 A_0 + \omega_j^2 C_0 + G_0) (\sqrt{\nu_1} \rho_1 + \sqrt{\nu_2} \rho_2) \sqrt{\omega_j} - 2 (\omega_j^2 - G_1) \sqrt{\nu_1 \nu_2} \rho_2 \right]}{\sqrt{2} (9\omega_j^4 A_0 - 5\omega_j^2 C_0 + G_0) (\sqrt{\nu_1} \rho_1 + \sqrt{\nu_2} \rho_2) + 8\omega_j^{\frac{3}{2}} (2\omega_j^2 B_1 - D_1) \sqrt{\nu_1 \nu_2} \rho_2}.$$

Индекс  $j$  принимает два значения  $j = 1; 2$ , что соответствует различным режимам волнового течения: режиму однородной жидкости (внешним волнам) и режиму «мертвой воды» (внутренним волнам). Частоты  $\omega_j$  считаем известными из решений задач для идеальной жидкости.

В ходе анализа выражения для декремента обнаружено, что декременты затухания внутренних волн в двухслойной жидкости примерно на порядок меньше декрементов затухания внешних волн, что объясняется разницей в частотах внешних и внутренних волн при прочих равных условиях.



## ГЕНЕРАЦИЯ КРИПТОГАФИЧЕСКИСТОЙКИХ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ КРИВЫХ

**В.В. Чижов**

Научный руководитель – В.Г. Дурнев, д-р физ.-мат. наук, профессор  
*Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова*

В 1985 году независимо друг от друга Коблитц и Миллер предложили использовать эллиптические кривые для построения криптосистем с открытым ключом.

Главной особенностью криптографии на эллиптических кривых является скорость зашифрования и расшифрования, а также сравнительно малый ключ.

Для обеспечения стойкости к атакам, на эллиптические кривые необходимо наложить определенные ограничения безопасности.

Пусть  $E$  эллиптическая кривая определенная над конечным полем  $F_p$  ( $p > 3$  и простое) вида  $y^2 = x^3 + ax + b$  с коэффициентами из группы точек эллиптической кривой, будем называть кривую криптографически стойкой если выполнены следующие условия:

1. Порядок группы точек эллиптической кривой  $\#E(F_p) = cl$ , при этом  $l > 2^{160}$  и положительное  $c \leq 4$ .

2.  $l$  и  $p$  - простые и различные.

3. Порядок  $p$  в мультипликативной группе  $F_1$  по крайней мере равен  $2000/\log_2(p)$ .

4. Количество классов максимального порядка, содержащих эндоморфизмы группы точек эллиптической кривой по крайней мере равно 200.

Главной частью работы является исследование множества криптографически стойких эллиптических кривых. Мною были выбраны следующие ограничения безопасности для эллиптических кривых:

1.  $p > 2^{160}$  большое простое число.

2.  $\#E(F_p) = q$  – простой, отличен от  $p$ .

3. Порядок  $p$  в  $F_q \geq 2000/\log_2(p)$ .

В результате исследования было выяснено, что на промежутке от 1 до 1000000 для всех простых чисел может быть сгенерировано 3020 криптографически стойких кривых (общее число 75842). В случае промежутка  $[2^{160}, 2^{160} + 10^6]$  содержится 37 стойких кривых, среди 8928 возможных. Если брать кривые из промежутка, рекомендованного ГОСТ Р 34.10-2001,  $[2^{255}, 2^{255} + 10^6]$ , то среди 5682 кривых найдется лишь 24 стойких. Можно сделать вывод о том, что при данных ограничениях безопасности для допустимого  $p$  может быть построена лишь одна криптографически стойкая кривая.

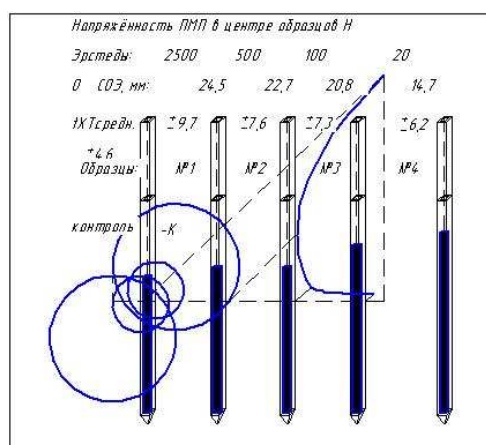
## ДИНАМИКА ОСЕДАНИЯ ЭРИТРОЦИТОВ В НЕОДНОРОДНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Д.Р. Шакиров, А.Г. Соломонов,\* А.В. Филатов

Научный руководитель – В.Ф. Бабанин, д-р биол. наук, профессор  
Ярославский государственный педагогический университет\*,  
Ярославский государственный технический университет

Влияние электромагнитных полей, в частности, градиента  $dH/dz$  постоянного электромагнитного поля (ПМП) может быть применено для расширения диагностических возможностей метода определения СОЭ. (Свободное оседание эритроцитов)

В исследовании ПМП создавалось горизонтально расположенным электромагнитом с полем 2500 эрстед между полюсами (его максимальная напряжённость). Кровь разводилась 5 %-ным раствором цитрата натрия в соотношении 4:1. Центр образцов №1 (Р-метка седиметра) совпадал с центром между полюсами. Центры образцов №2, 3 и 4 лежали на горизонтальной линии, идущей через него, с шагом 3 см. Регистрацию СОЭ 24 опытных и 15 удаленных образцов проводили через 10-минутные интервалы в течение 2-х часов.



Повышение СОЭ в неоднородном магнитном поле в сравнении с контролем достоверно,  $p < 0,05$ . При градиенте поля на эритроцит дополнительно действует сила  $F = \chi m H dH/dz$ , определяемая как магнитными свойствами вещества  $\chi m$ , ( $\chi$  – удельная магнитная восприимчивость клетки,  $m$  – её масса), так и параметрами поля  $H dH/dz$ . Различие в удельных магнитной восприимчивости и намагниченности насыщения для СОЭ человека и коровы

представлено в таблице.

Таблица показателей магнитной восприимчивости  $X_p$  и намагниченности насыщения  $\delta_s$  методом Фарадея

Кровь человека			Кровь коровы		
	$X_p 10^{-6} \text{ см}^3/\text{гр}$	$\sigma_F \text{ Гс см}^3/\text{гр}$		$X_p 10^{-6} \text{ см}^3/\text{гр}$	$\sigma_F \text{ Гс см}^3/\text{гр}$
До СОЭ	-0,47	1,64	До СОЭ	-0,58	1,59
Осадок	-0,31	4,71	Осадок	-0,67	1,42
Столбик	-0,26	5,75	Столбик	-0,55	2,06

# НЕЛИНЕЙНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ЗАРЯЖЕННОЙ КАПЛИ В ОДНОРОДНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

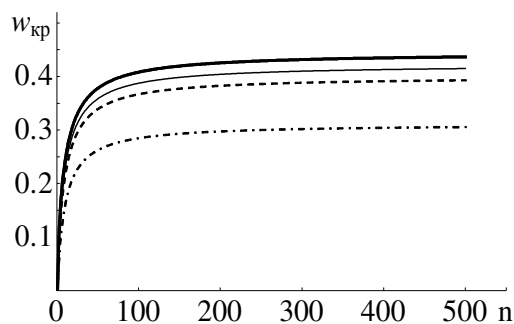
А.А. Ширяев

Научный руководитель - А.И. Григорьев, д-р физ.-мат. наук, профессор  
Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Проблема выяснения физических закономерностей реализации неустойчивости заряженной капли в однородном электростатическом поле осложнилась тем, что капля в однородном электростатическом поле принимает равновесную форму близкую к сфероидальной и при решении задачи приходится сталкиваться с двумя малыми параметрами: безразмерной амплитудой осцилляций  $|\xi(\theta, t)|/\min |r(\theta)| \ll 1$  и квадратом эксцентриситета заряженной капли в электростатическом поле  $e^2 \ll 1$ .

В работе рассматривается капля радиуса  $R$  идеальной, идеально проводящей, несжимаемой жидкости плотностью  $\rho$ , с коэффициентом поверхностного натяжения  $\sigma$ , зарядом  $Q$ , помещённая в однородное электрическое поле  $E_0$ . Рассмотрение проводится в сферической системе координат с началом в центре масс капли. Задача решается в приближении потенциального течения жидкости в безразмерных переменных  $R = \rho = \sigma = 1$ . Рассматривается осесимметричная постановка. Задача скаляризуется переходом к гидродинамическому и электрическому потенциалам.

Из задачи первого порядка определяется  $r(\theta)$  - равновесная форма поверхности капли, которая является сфероидальной. Величина эксцентриситета определяется параметрами



Тейлора ( $w = E_0^2 R / 16\pi \sigma$ ) и Релея ( $W = Q^2 / 16\pi \sigma R^3$ ). Решая задачу второго порядка, получаем набор критических значений  $w_n(W)$ , представленный на рисунке.

На рисунке кривые расположены сверху вниз, в порядке возрастания параметра Релея:  $W=0; 0.05; 0.1; 0.3$ . Как видно из графика, с ростом заряда на капле происходит уменьшение критических значений  $w$ , что приводит к потере устойчивости поверхности капли при меньшем внешнем поле.

В проведенном рассмотрении главное, что обнаружилось, что критические значения параметра Тейлора (для заряженной или незаряженной капли) с увеличением номера моды выходят на насыщение в отличие от критического значения параметра Релея для сильно заряженной капли в отсутствие внешнего поля, который стремится к бесконечности, пропорционально полуторной степени от номера моды. Показано, что зависимость критической величины полевого параметра (параметра Тейлора) от номера моды  $n$  выходит на насыщение при  $n \approx 50$ , и можно указать значение  $w$ , при котором все моды неустойчивы – капля выбросит струю, как это отмечено в экспериментах Кима и Данна, проведенных пару лет назад.

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАБОТЫ ОДНОМАШИННЫХ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМ БЕЗ ЗАПАСА

**И.В. Шпак, В.В. Игнатенко**

Научный руководитель - В.В. Игнатенко, канд. физ.-мат. наук, доцент  
Белорусский государственный технологический университет

Ряд лесопромышленных систем функционируют без запаса древесины. К ним могут относиться: сортировочные лесотранспортеры, окорочные станки, лесопильные рамы, и другие. Пусть лесопромышленная система состоит только из одного станка и к нему поступает на обработку пуассоновский поток предметов труда с интенсивностью  $\lambda$ . Обработка предмета труда осуществляется с изменяющейся продолжительностью цикла  $t_o$ , распределенного по показательному закону с параметром  $\mu$ .

Система может находиться в следующих состояниях:  $S_0$  - оборудование исправно и простаивает из-за отсутствия предметов обработки,  $S_1$  - оборудование осуществляет обработку предмета труда. Обозначим через  $P_0(t)$  вероятность того, что момент времени  $t$  система находится в состоянии  $S_0$ ,  $P_1(t)$  - в состоянии  $S_1$ . Для любого момента времени  $t$ :  $P_0(t) + P_1(t) = 1$ .

Математическая модель функционирования системы представляет систему дифференциальных уравнений Колмогорова

$$\begin{cases} \frac{dP_0(t)}{dt} = \lambda P_0 + \mu P_1 \\ \frac{dP_1(t)}{dt} = -\mu P_1 + \lambda P_0 \end{cases}.$$

Решая систему при  $P_0(0)=1$ ,  $P_1(0)=0$ , и переходя к пределу при  $t \rightarrow \infty$ , в установившемся режиме имеем:  $P_0 = \frac{\mu}{\lambda + \mu}$ ,  $P_1 = \frac{\lambda}{\lambda + \mu}$ ,  $\lambda = \frac{1}{t_i}$ ,  $\mu = \frac{1}{t_o}$ , где  $t_i$  - среднее значение времени между поступлениями предметов труда на обработку;  $t_o$  - средняя продолжительность цикла обработки. Вероятность  $P_1$  представляет собой коэффициент использования рабочего времени.

Пример. Система раскряжёвки работает с циклом обработки  $t_o = 1$  мин. Интенсивность подачи можно изменять. Необходимо установить рациональную интенсивность подачи хлыста. Анализируя, полученные формулы, получаем, что начиная с  $\lambda = 5-6$  дальнейшее увеличение параметра существенно не повысит вероятность рабочего состояния. Рациональный цикл подачи хлыстов составит  $t_i = 1/\lambda = 1/5 = 0,2$  мин. Полученное значение цикла подачи хлыста позволяет выбирать подающий механизм: растаскиватель, манипулятор или др.

**ЯВЛЕНИЕ ЦУНАМИ****В.О. Юшин**

Научный руководитель – П.А. Иванов, канд. физ.-мат. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Цунами - длинные волны, порождаемые мощным воздействием на всю толщу воды в океане или другом водоёме. Причиной большинства цунами являются: подводное землетрясение (около 85 % всех цунами), оползни, вулканические извержения. В открытом океане волны цунами распространяются со скоростью корень квадратный из  $gH$ , где  $g$  – ускорение свободного падения, а  $H$  – глубина океана (так называемое приближение мелкой воды, когда длина волны существенно больше глубины).

При средней глубине 4 км скорость распространения получается 200 м/с или 720 км/ч. В открытом океане высота волны редко превышает один метр, а длина волны (расстояние между гребнями) достигает сотен километров, и поэтому волна не опасна для судоходства. При выходе волн на мелководье, вблизи береговой черты, их скорость и длина уменьшаются, а высота увеличивается. У берега высота цунами может достигать нескольких десятков метров. Наиболее высокие волны, до 30-40 метров, образуются у крутых берегов, в клинообразных бухтах и во всех местах, где может произойти фокусировка. Районы побережья с закрытыми бухтами являются менее опасными.

Цунами обычно проявляется как серия волн, так как волны длинные, то между приходами волн может проходить более часа. Именно поэтому не стоит возвращаться на берег после ухода очередной волны, а стоит выждать несколько часов. Высоту волны на прибрежном мелководье  $H_{\text{мелк}}$  (м), не имеющем защитных сооружений, можно посчитать по следующей эмпирической формуле:

$$H_{\text{мелк.}} = 1,3 \cdot H_{\text{глуб.}} \cdot (V_{\text{глуб.}} / V_{\text{мелк.}}) / 4,$$

где  $H_{\text{глуб.}}$  – изначальная высота волны в глубоком месте;

$V_{\text{глуб.}}$  – глубина воды в глубоком месте;

$V_{\text{мелк.}}$  – глубина воды в прибрежной отмели.

## **СЕКЦИЯ «ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И НАЗЕМНЫЙ ТРАНСПОРТ»**

УДК 621.436

### **ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ ГАЗОПОРШНЕВОЙ УСТАНОВКИ**

**А.Н. Безбатченко, А.А. Павлов**

Научный руководитель – А.А. Павлов, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Развитие современной цивилизации сопровождается постоянным увеличением потребления энергии. В связи с этим возникает множество проблем, таких как ограниченность ископаемых запасов топлива, и соответственно высокая их стоимость, неравномерность распределения ископаемых ресурсов по регионам планеты, а также ухудшение экологической ситуации на планете. По данным министерства топлива и энергетики России, свыше 60 % территории страны лишено централизованного электроснабжения. В этих удаленных районах проживает свыше 10 % населения. Энергоснабжение таких населенных пунктов осуществляется в основном за счет привозного жидкого и твердого ископаемого топлива, стоимость которого имеет устойчивую тенденцию к росту. Производство альтернативных энергоносителей из возобновляемых источников можно рассматривать как одно из перспективных направлений для научных изысканий. В связи с вышесказанным целью настоящей работы является проектирование энергетического устройства, позволяющего одновременно вырабатывать тепловую и электрическую энергию, которое использует в качестве топлива возобновляемые источники (такие как древесина, торф, горючие сланцы). Таким создаваемым устройством будет когенерационная газопоршневая установка, у которой в качестве первичного теплового двигателя использован газопоршневой двигатель внутреннего сгорания. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- обосновать электрическую мощность когенерационной газопоршневой установки;
- спроектировать газопоршневой двигатель внутреннего сгорания;
- определить параметры газификатора топлива;
- разработать энергетическую установку для одновременной выработки тепловой и электрической энергии.

Таким образом, в результате выполнения работы разработана когенерационная газопоршневая установка электрической мощностью 200 кВт, содержащая 8-цилиндровый газопоршневой двигатель внутреннего сгорания, блок утилизации теплоты, газификатор топлива.

## **ПРОЕКТ ВЫСОКОФОРСИРОВАННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПРИНУДИТЕЛЬНЫМ ЗАЖИГАНИЕМ ДЛЯ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ**

**Д.А. Ефиманова, А.А. Павлов**

Научный руководитель – А.А. Павлов, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Одной из важнейших задач в области развития двигателей внутреннего сгорания является уменьшение их удельной массы и габаритных размеров при сохранении их ресурса и увеличения мощности. Для решения указанной проблемы существует преимущественно два направления:

- 1) увеличение частоты вращения коленчатого вала двигателя,
- 2) применение наддува.

Современные тенденции развития двигателестроения предусматривает применение наддува. В связи с этим, целью настоящей работы является проектирование высокофорсированного двигателя с принудительным зажиганием с наддувом для легкового автомобиля. Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

- выдвинуть концепцию проектируемого двигателя;
- произвести тепловой расчет двигателя;
- выполнить динамический расчет двигателя;
- определить параметры систем двигателя;
- рассчитать детали двигателя на прочность;
- разработать технологический процесс сборки турбокомпрессора двигателя;

В итоге у создаваемого двигателя внутреннего сгорания с принудительным зажиганием достигнуты следующие параметры:

- номинальная мощность  $N_e = 125$  кВт;
- удельная мощность  $N_{el} = 90$  кВт/дм<sup>3</sup>;
- номинальная частота вращения коленчатого вала  $n = 6000$  мин<sup>-1</sup>;
- число цилиндров  $i = 4$ ;
- рабочий объем двигателя  $iVh = 1,4$  дм<sup>3</sup>.

## **ПРОЕКТ ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ АККУМУЛЯТОРНОГО ТИПА ДЛЯ ДИЗЕЛЯ**

**П.Е. Климов, А.П. Перепелин**

Научный руководитель – А.П. Перепелин, канд. тех. наук, доцент.

*Ярославский государственный технический университет*

Главной задачей совершенствования дизельных двигателей на современном этапе является постоянно ужесточающееся законодательство по токсичности отработавших газов. Для обеспечения будущих требований необходимы высокие давления впрыска. По данным фирмы AVL дизель для грузовых автомобилей в 2015 году должен обладать следующими свойствами: максимальное давление газов в камере сгорания 22-25 МПа, удельные мощности 35-40 кВт/л, двухступенчатый турбонаддув, гибкая система впрыска, обеспечение давления впрыска до 250 МПа, предпочтительно Common Rail. Топливные системы (ТС) аккумуляторного типа Common Rail с электронным управлением нашли широкое применение на дизелях за рубежом. В нашей стране такие системы пока не производятся, что препятствует созданию отечественных дизелей, отвечающих перспективным требованиям.

ТНВД подает топливо в аккумулятор; аккумулятор соединен с форсунками; форсунки управляют впрыском с использованием электромагнитного управляющего клапана. Система позволяет иметь требуемое давление, независимо от режима работы двигателя. Так же управлять моментом начала впрыска, выбирая оптимальный момент начала впрыска для каждого режима. С помощью электроуправляемой форсунки можно получить прерывистый впрыск для оптимизации сгорания. Давление в аккумуляторной системе может достигать 200 МПа и выше.

Целью работы является внесение изменений в конструкцию системы для использования волновых явлений в топливопроводах, с целью повышения давления впрыска и устранения нежелательных колебаний давления топлива в топливопроводах, соединяющих насос с аккумулятором и аккумулятор с форсунками. Подбор оптимальных размеров проходных сечений на входе и выходе из аккумулятора.



## **К ПРОЕКТУ ТОПЛИВНОГО НАСОСА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ К ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЕ АККУМУЛЯТОРНОГО ТИПА**

**В.В. Топоров, А.П. Перепелин**

Научный руководитель – А.П. Перепелин, канд. техн. наук  
*Ярославский государственный технический университет*

Актуальность и практическое значение работы состоит в разработке и производстве ТНВД, предназначенных для двигателей с аккумуляторными топливными системами с рабочим объемом цилиндра до 2,5 л, при максимальной литровой мощности до 40 кВт/цилиндр для тяжелых дизелей.

Проблема улучшения топливной экономичности транспортных дизелей и снижение токсичности их отработавших газов становится все более острой. В России существует проблема постановки на производство конкурентоспособных автомобилей, сопоставимых по своим показателям с лучшими зарубежными аналогами. Наиболее эффективным средством воздействия на рабочий процесс дизеля с целью улучшения экономических и экологических показателей является совершенствование процесса топливоподачи и управление этим процессом в соответствии с режимом работы двигателя.

Важность вопросов организации топливоподачи и управления в решении экологических проблем подтверждается мировым опытом - десятикратное снижение нормируемых вредных выбросов за последние 10 лет в странах Европы обусловило переход на системы топливоподачи аккумуляторного типа и системы управления нового поколения.

На основе проведенного анализа конструкций топливных насосов высокого давления (ТНВД), определена цель работы: создание конструкции ТНВД топливной системы аккумуляторного типа Common Rail для отечественных дизелей, отвечающих современным и перспективным требованиям по токсичности отработавших газов. Определение основных исходных параметров, которым должен отвечать насос.

Поставлены задачи по выбору конструктивных схем основных узлов и параметров топливных насосов высокого давления для топливоподающих систем аккумуляторного типа для отечественных дизелей, отвечающих перспективным требованиям.

Проведенный анализ показал, что указанная цель может быть достигнута путем разработки топливного насоса высокого давления, позволяющего развивать давления впрыска не ниже 250 МПа.

**АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ  
ПИРОЛИЗНЫХ И БИОГАЗОВ ДЛЯ РАБОТЫ КГУ  
В КАЧЕСТВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

**А.А. Ахмеджанов, А.А. Павлов**

Научный руководитель – А.А. Павлов, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

В настоящее время основным недостатком топливно-энергетического комплекса Российской Федерации является огромная зависимость от добычи и применения углеводородного (нефтяного и газового топлива) сырья при производстве тепловой и электрической энергии. Вместе с тем во всем мире активно разрабатываются технологии выработки тепловой и электрической энергии из возобновляемых сырьевых органических источников. Для предотвращения полной зависимости экономики Российской Федерации от возможностей топливно-энергетического комплекса так же необходимо развивать собственные технологии выработки тепловой и электрической энергии с использованием возобновляемых сырьевых органических источников.

К возобновляемым источникам энергии следует отнести биогаз и пиролизный (синтез) газ.

Биогаз – это газ, получаемый путем анаэробного сбраживания биомассы в отсутствие кислорода. В результате брожения биомасса разлагается под воздействием трех видов бактерий. Первый вид – гидролизные бактерии, второй – кислотообразующие, третий – метанобразующие.

Пиролиз – это превращение органических соединений в результате их деструкции в процессе термического разложения органических соединений под действием высокой температуры при недостатке кислорода. При пиролизе из всех видов углеродсодержащего сырья, образуется пиролизный газ практически одинакового состава, представляющий собой смесь газов: угарного газа, метана, водорода, углекислого газа и азота. Для одновременной выработки тепловой и электрической энергии необходимо применять ТЭЦ, наиболее эффективной ТЭЦ в диапазоне мощностей от 10 до 1000 кВт будет являться когенерационная установка (КГУ) с газопоршневым двигателем внутреннего сгорания. В этом случае газопоршневой двигатель использует в качестве газового топлива выработанный методом газификации био– или пиролизный газ. Используя КГУ с газопоршневыми ДВС работающими на газовом топливе, полученном методом газификации различного сырья органического происхождения, возможно, создать сеть высокоэффективных энергетических установок снабжающих энергией различные секторы экономики.

## К ПРОБЛЕМЕ ПОВЫШЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ТОПЛИВА ПРИ ВПРЫСКИВАНИИ В БЕНЗИНОВЫХ И ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

**П.В. Волощенко, Л.Л. Иванов, Ю.Е. Хрящёв**

Научный руководитель – Ю.Е. Хрящев, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Анализ процессов испарения бензинов и дизельных топлив показывает, что основными факторами при этом являются: относительная скорость движения частиц топлива и воздуха, длительность процесса, поверхность испарения и температурные условия. Рассматривая эти факторы в пространстве сжатия бензиновых (БД) и дизельных двигателей (ДД) в период от начала подачи топлива до момента воспламенения можно отметить следующее. В БД при меньших температурах заряда в конце процесса сжатия имеется значительно большее время до момента искусственного воспламенения топлива искрой; тогда как в ДД, при значительно более высокой температуре воздуха, время до естественного самовоспламенения топлива на порядок меньше. Факторы поверхности испарения и относительной скорости движения частиц топлива и воздуха в ДД предпочтительнее. Особенно фактор поверхности, существенно возрастающий при повышении давления впрыскивания. Расчет суммарной поверхности капель, например, для цикловой подачи  $100 \text{ мм}^3$ , при условии их одинаковости, дает следующую картину (табл. 1).

**Таблица 1**

Диаметр капли	$d_k, \text{ мм}$	1	0,5	$1 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Суммарная поверхность капель	$\Sigma S_k$	$\approx 600 \text{ мм}^2$	$\approx 1200 \text{ мм}^2$	$\approx 60 \text{ см}^2$	$\approx 600 \text{ см}^2$	$\approx 0,6 \text{ м}^2$	$\approx 6 \text{ м}^2$

Выделенное характерно для ДД, но нет подтвержденных данных о характерных зонах размеров капель для БД. Отсюда следует необходимость дальнейшего повышения давления топлива, при впрыскивании в БД, и проведения экспериментальных работ по оценке мелкости распыливания, при этом.

Перспективна идея использования энергии гидравлического удара для повышения давления в топливе. В динамической системе топливоподачи с форсункой А.В. Голубева высокое давление создается и существует непосредственно в процессе впрыскивания. В результате снижаются требования по плотности к прецизионному сопряжению корпус распылителя - направляющая запорного органа, что важно, с учетом плохих смазывающих свойств бензина. Таким образом, указанная система топливоподачи, вероятно, может быть использована и для БД.

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ТОПЛИВОПОДАЧИ ДЛЯ ГАЗОДИЗЕЛЯ**

**А.А. Гомов, Ю.Е. Хрящев**

Научный руководитель - Ю.Е. Хрящёв, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Известные к настоящему времени газодизельные двигатели обладают теми недостатками, что используется неоправданно большая запальная доза дизельного топлива. Кроме того, сама система топливоподачи остается несовершенной. Попытка усовершенствования топливоподающей системы применительно к двигателю ЯМЗ-536 представлена в данной работе.

На двигатель ЯМЗ-536 установлено газовое оборудование, включающее в себя электромагнитный газовый дозатор на впускном коллекторе максимально близко к головке цилиндров, индивидуально для каждого цилиндра. Электромагнитный газовый дозатор имеет компактную конструкцию и оснащен специальным электромагнитом высокой мощности, направленным на увеличение чувствительности дозирующего элемента. Система имеет в своем составе понижающий давление двухступенчатый редуктор. Современные системы впрыска позволяют снизить запальную дозу дизельного топлива до 2-3 % от цикловой подачи, при этом обеспечивая качественное воспламенение горючей смеси, поступающей в цилиндр.

Достижимым техническим результатом является создание новой системы топливоподачи для газодизеля на базе двигателя ЯМЗ-536, обеспечивающей снижение времени срабатывания электромагнитного газового дозатора, повышение быстродействия и точности дозирования, а также за счет высокого давления впрыскивания дизельного топлива и качества его распыла, обеспечиваемого системой Common Rail, улучшение запала горючей смеси и, как следствие, повышение ресурса элементов системы.

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ  
ПРОТИВОТОЧНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА, ПОЛУЧЕННЫХ  
ПО МЕТОДИКЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГИДРОГАЗОДИНАМИКИ  
И ПРАКТИЧЕСКОЙ МЕТОДИКЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ**

**Р.В. Горшков, А.А. Павлов, А.В. Жаров**

Научный руководитель – А.А. Павлов, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

В современном мире всё большее внимание уделяется энергосберегающим технологиям в целях повышения энергоэффективности в промышленности и других отраслях народного хозяйства. Одним из наиболее перспективных путей повышения энергоэффективности является когенерация – процесс совместной выработки электрической и тепловой энергии.

Тепловой расчет утилизаторов теплоты – теплообменных аппаратов является основным необходимым элементом при проектировании когенерационных установок (КГУ). Целью данной работы является проведение сравнительного анализа результатов расчета простейшего рекуперативного теплообменника типа «труба в трубе» с противоточной схемой движения теплоносителей, полученных по двум методам.

До настоящего времени известные методики расчета таких аппаратов основаны на использовании средних по всему объему параметров и базируются целиком на опытных данных и теории подобия в форме эмпирических уравнений, обобщающих эти данные.

Использование математической модели сопряженных процессов тепломассообмена в таких аппаратах позволяет рассчитывать распределение температур теплоносителей и её компьютерной реализации, а также повысить степень достоверности основных параметров теплообмена и выбрать рациональные режимы эксплуатации.

По результатам проведенных расчетов по двум методикам выявлено, что выходные параметры теплоносителей имеют разные значения. Так разность температур между входными и выходными значениями горячей и холодной воды получилась больше при расчете методом компьютерной гидрогазодинамики. Это объясняется тем, что данный метод расчета позволяет учитывать неустановившиеся режимы течения теплоносителей на начальных участках. В результате работы были исследованы гидрогазодинамические и теплообменные процессы, протекающие в полостях теплообменника, двумя методами. Результаты расчетов выявили главным образом преимущества и недостатки обеих методик, а так же оценили степень достоверности полученных результатов.

## **ПРОЕКТ РАСШИРИТЕЛЬНОЙ РОТОРНО-ЛОПАСТНОЙ ТУРБИНЫ ДЛЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ**

**А.В. Гусаков, А.А. Павлов**

Научный руководитель – А.А. Павлов, канд. тех. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов представляет сегодня собой одну из глобальных мировых проблем, успешное решение которой, по-видимому, будет иметь определяющее значение не только для дальнейшего развития мирового сообщества, но и для сохранения среды его обитания. Одним из перспективных путей решения этой проблемы является применение новых энергосберегающих технологий, использующих нетрадиционные возобновляемые источники энергии (НВИЭ). Истощение запасов традиционного ископаемого топлива и экологические последствия его сжигания обусловили в последние десятилетия значительное повышение интереса к этим технологиям практически во всех развитых странах мира.

Преимущества технологий теплоснабжения, использующих нетрадиционные источники энергии в сравнении с их традиционными аналогами, связаны не только со значительными сокращениями затрат энергии в системах жизнеобеспечения зданий и сооружений, но и с их экологической чистотой, а также новыми возможностями в области повышения степени автономности систем жизнеобеспечения.

Производство собственной электроэнергии на мини-ТЭС позволяет снизить стоимость квоты за присоединение к централизованным электросетям.

На данный момент произведен теоретический расчет бутановой турбины, а именно теоретический термодинамический цикл, определены параметры рабочего тела; рассчитан процесс в сопловом аппарате, процессы в рабочих решетках ступеней и сопловом аппарате, построены план скоростей и профили лопаток СА и РК, определены мощность и КПД турбины.

В дальнейшем необходимо провести работу по разработке плана технологического процесса сборки, отработать конструкцию и технологию производства деталей турбины.

## **СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ СИЛОВЫМ АГРЕГАТОМ БОЛЬШЕГРУЗНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА**

**К.В. Дойников, Ю.Е. Хрящёв**

Научный руководитель - Ю.Е. Хрящёв, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

В большегрузных транспортных средствах, для высвобождения функций водителя выбирать и переключать передачи, позволяя ему сосредоточиться на других аспектах движения, а также для автоматической оптимизации крутящего момента силового агрегата транспортного средства применяются автоматизированные системы управления, обеспечивающие автоматическую смену режима движения.

Большинство существующих систем автоматизации трансмиссии имеют ряд недостатков: низкий КПД, низкая технологичность и ремонтнопригодность, слабая адаптивность, высокая стоимость, узкая специализация применения. В связи с этим предлагается новая система автоматизации управления (САУ) предназначенная для установки на механические коробки передач (КП) большегрузных транспортных средств, позволяющая переключать передачи как в автоматизированном (дистанционном) режиме, так и в автоматическом (робот) режиме.

Новая САУ устанавливается на механическую коробку передач без существенных изменений конструкции последней. САУ включает в себя линейные электромагнитные исполнительные механизмы, три пневматических цилиндра, предназначенных для переключения дополнительных редукторов - делителя и демультипликатора. Управление пневматическими цилиндрами осуществляется электромагнитными пневматическими распределителями. Система снабжена датчиками положения поршня пневматического цилиндра выжима сцепления, датчиком включения диапазона делителя, датчиком переключения демультипликатора, датчиками угловой скорости входного и выходного валов. Электронный блок управления состоит из программной и аппаратной части. Аппаратная часть содержит процессную и силовую составляющие. Индикация и управление системой осуществляется при помощи дисплея и джойстика переключения передач соответственно. Создан адаптивный алгоритм управления коробкой передач.

Применение новой системы будет способствовать экономии топлива транспортного средства, увеличению срока службы основных агрегатов трансмиссии (муфт сцепления, синхронизаторов, подшипников и др.), существенному уменьшению функций водителя в управлении скоростью транспортного средства и автоматической оптимизации крутящего момента силового агрегата.

## **ПОВЫШЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ОХЛАЖДАЮЩИХ НАНОЖИДКОСТЕЙ**

**А.Н. Евдокимов, А.В. Жаров**

Научный руководитель – А.В. Жаров, канд. техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Известно, что часть тепла, выделяющегося в процессе сгорания топлива в двигателе, идёт на нагревание его деталей. Чтобы предотвратить перегрев деталей, их охлаждают. В системе охлаждения двигателя циркулирует специальная охлаждающая жидкость. Обычные охлаждающие (теплопроводящие) жидкости, такие как вода, масла, гликоли и фторуглероды, обладают низкой теплопроводностью. Многие научные коллективы разрабатывают новые подходы для улучшения свойств переноса тепла жидкостями. Основная идея увеличения теплопроводности заключается в создании многофазной (минимум двухфазной) дисперсной среды, где роль дисперсии выполняют частицы со значительно большим коэффициентом теплопроводности. Эта инновационная идея - добавление твердых частиц в теплопроводящие жидкости, была предложена еще Максвеллом.

Для увеличения теплопроводности теплопроводящих жидкостей в них добавляют металлические дисперсионные материалы, такие как серебро, медь и железо, и неметаллические материалы, такие как глинозем,  $\text{CuO}$ ,  $\text{SiC}$  и углеродные нанотрубки, обладающие более высокой теплопроводностью, чем сами жидкости. Суспензии на основе наночастиц твердой фазы и получили название наноожидкостей. Самая привлекательная особенность наноожидкостей в том, что даже при добавлении небольшого количества наночастиц, они показывают аномальное повышение в теплопроводности, более чем в 10 раз.

Наши исследования базируются на положительных опытах к.т.н. Н.Г. Савинского, создающего наноожидкости на основе тонких углеродных нанотрубок и графена. В настоящее время нами разрабатывается стенд по измерению теплопроводности наноожидкости на основе метода 3-омега и установка по испытанию наноожидкости в реальных охлаждающих устройствах.



## **РЕГУЛЯТОР МИНИМАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ХОЛОСТОГО ХОДА С ФУНКЦИЯМИ АУТОПОДСТРОЙКИ ПРИ ПОМОЩИ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ**

**Д.А. Епанешников, Ю.Е. Хрящёв**

Научный руководитель – Ю.Е. Хрящёв, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

В данной работе решается задача обеспечения устойчивой работы дизельного двигателя на режимах минимального холостого хода в течение всего срока эксплуатации путем применения адаптивного ПИД-регулятора.

На этапе тестирования работы ПИД-регулятора в составе системы управления, для обеспечения требований к качеству регулирования требуется коррекция величин его коэффициентов. Данная процедура может быть осуществлена на основе опыта эксперта, либо с применением различных расчетных методик. В работе произведен анализ наиболее известных методик определения величины коэффициентов ПИД-регулятора, произведена оценка возможности их применения для регулятора частоты вращения холостого хода автомобильного дизеля. Предложена методика синтеза искусственной нейронной сети (ИНС) для распознавания состояния системы управления. На основе полученных результатов предлагается адаптивный регулятор минимальной частоты вращения холостого хода с возможностью автоматической настройки его параметров. В основе алгоритма автоматической настройки регулятора используется ИНС, распознающая образ переходного процесса в системе управления и определяющая величину коррекции коэффициентов регулятора по экспериментально полученным настроечным картам.

Предлагаемый в работе алгоритм регулятора, вследствие своей универсальности, может быть использован в составе систем управления двигателями с различными типами топливной аппаратуры. Модификация классического ПИД-регулятора при помощи включения в его схему «наблюдателя», реализованного как ИНС с простой топологией способно исключить необходимость дополнительной ручной настройки. Применение регулятора, описанной структуры, способно улучшить управление двигателем при работе в условиях постоянно меняющихся режимов работы, а также в условиях, не предусмотренных при проектировании (работа с неисправностью).

## **УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНВЕКТИВНОГО МЕХАНИЗМА ТЕПЛООБМЕНА ВОДЫ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ ГРАФЕНОМ**

**А.М. Жуков, А.А. Павлов**

Научный руководитель – А.А. Павлов, канд. тех. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Большинство отраслей промышленности используют обычные жидкости, такие как деионизированная (ДИ) вода, этиленгликоль (ЭГ), трансформаторное масло и др. в качестве теплоносителей. Эффективность конвективного теплообмена между жидкостью и охлаждаемым устройством определяет производительность и срок службы оборудования, электронных схем, машин и др.

Эффективность конвективного теплообмена между жидкостью и охлаждаемым устройством может быть увеличена путем повышения теплопроводности и теплопередающих свойств жидкости. Обычные жидкости обладают относительно низкой теплопроводностью по сравнению с твердыми веществами. Модификация жидкостей частицами твердых веществ повышают их теплофизические свойства. В частности при добавлении графена к воде происходит интенсификация конвективного механизма передачи теплоты от последней к омываемой ей твердому телу.

Конвективный механизм теплопередачи воды, модифицированной графеном, является предметом научных исследований настоящей работы. Изучение конвективного механизма теплопередачи от модифицированной графеном воды к твердому телу изучали с помощью изготовленной своими руками установки, которая состоит из обводной линии, теплового агрегата, охлаждающего элемента и контрольно-измерительного устройства. Обводная линия включает включенный насос с клапанной системой управления потоком, резервуар и испытательную секцию. Прямая трубка из нержавеющей стали 1100 мм в длину и 23 мм внутренним диаметром была использована в качестве испытательной секции. Весь тест секция нагревается нихромовым нагревательным элементом, связанным с регулируемым источником питания переменного тока. Пятимиллиметровый тепловой изолирующий слой окружал нагреватель для получения постоянного условия теплового потока вдоль испытательной секции. Четыре медно-никелевые термопары, приваренные на испытательном участке в аксиальных положениях. Еще две медно-никелевые термопары были вставлены в поток на входе и на выходе из испытательной секции для измерения объемной температуры воды, модифицированной графеном.

## **ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ТОЛКАТЕЛЯ ДЛЯ ВЫСОКООБОРОТНОГО ТНВД**

**В.Г. Комиссаров, А.В. Жаров**

Научный руководитель – А.В. Жаров, канд. техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Повышение требований к увеличению топливной экономичности и снижению эмиссии токсичных компонентов с отработавшими газами вместе с никогда не оканчивающимися требованиями к снижению шумности вынуждают вносить постоянные изменения в конструкцию двигателя внутреннего сгорания.

Одним из методов увеличения эффективности работы двигателя является увеличение рабочего давления топлива. Решающую роль в эффективной работе всей топливной системы играет топливный насос высокого давления (ТНВД).

В настоящее время привод плунжеров ТНВД для аккумуляторных топливных систем осуществляется кулачком, воздействующим на роликовый толкатель плунжера.

К недостаткам такой схемы следует отнести то, что при обеспечении необходимого рабочего давления топлива в кинематической паре кулачок - роликовый толкатель возникают критические контактные напряжения. Все это приводит к тому, что при данной схеме невозможна дальнейшая форсировка насоса по величине рабочего давления топлива, а при штатной работе повышается вероятность его отказа, связанная с разрушением деталей кинематической пары кулачок - роликовый толкатель. Поэтому для дальнейшего форсирования (увеличения рабочего давления топлива) необходимо доработать конструкцию, используя безосевой толкатель. При использовании данного толкателя уменьшаются контактные напряжения, так как нагрузка распределяется более равномерно (пятно контакта больше).

В связи с этим были проведены стендовые испытания безосевых толкателей в составе высокооборотного ТНВД (мод.47 ЯЗДА), в ходе которых была определена возможность применения безосевых толкателей для комплектации высокооборотных ТНВ, а также была проверена работоспособность плоских нагнетательных клапанов в составе секций опытного высокооборотного ТНВД. Испытания показали, что необходимо некоторое изменение конструкции, а именно доработка корпуса толкателя, снятие заходных фасок, и перенос сливного отверстия масла ТНВД на верхнюю плоскость ТНВД. После данных изменений в конструкции были проведены успешные испытания, в ходе которых конструкция была признана работоспособной.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОТОРНЫХ МАСЕЛ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ГРАФЕНОМ**

**А.В. Морозов, А.В. Жаров**

Научный руководитель – А.В. Жаров, канд. техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

В современных технических объектах, их узлах и агрегатах, работоспособны только легированные масла, то есть масла, содержащие присадки и добавки в виде синтетических и минеральных ингредиентов к базовому маслу, придающие ему необходимые свойства. Уровень эксплуатационных свойств моторных и трансмиссионных масел и реализация ресурса, в течение которого транспортное средство остается работоспособным, зависят не только от качества базовых масел, но и от содержания в них присадок и их эффективности. Основной тенденцией в развитии тракторо- и автомобилестроения является постоянное ужесточение требований, предъявляемых к смазочным материалам.

Повышение ресурса соединений «гильза цилиндра – поршневое кольцо», «шейка коленчатого вала – вкладыш» является актуальной задачей, поскольку именно эти соединения в большей степени определяют предельное состояние двигателя в целом. Для решения данной задачи в рамках настоящей работы были проведены сравнительные лабораторные испытания на 4-шариковой машине трения ЧМТ-1 базового масла SN-400 и этого же масла с добавлением графена (концентрация графена - на 100 г масла 0,3 г графена) с целью определения влияния этого вещества на трибологические характеристики масла. Испытания проводились при разных нагрузках: 40 кг, 63 кг, 50 кг. В целях определения эффективности применения графена полученные результаты сравнивались с базовым маслом. При первом испытании получен слишком незначительный диаметр пятна износа, а при втором – более большой. Поэтому результаты, во-первых, отличаются друг от друга (при первом испытании улучшение на 12 %, а при втором на 22 %), во-вторых, не понятно какой из результатов достоверный. Оптимальный диаметр пятна 0,8-1,2 мм. Поэтому было проведено еще одно испытание при промежуточной нагрузке для получения оптимального диаметра пятна контакта. По результату последнего испытания выявлено ухудшение свойств масла с добавлением графена.

В дальнейшем планируются работы по оптимизации результатов, улучшению качества получаемого графена и смеси его с маслом.

## РАСЧЁТ ТОПЛИВНОГО НАСОСА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

**А.В. Русаков, А.А. Павлов**

Научный руководитель – А.А. Павлов, канд. тех. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

В современном мире стимулом совершенствования дизельных двигателей является постоянно ужесточающееся законодательство по токсичности отработавших газов. Для обеспечения будущих требований необходимы высокие давления впрыска. По данным фирмы AVL (Австрия) дизель для коммерческих автомобилей в 2015 году должен обладать следующими свойствами: максимальное давление газов в камере сгорания 22...25 МПа, удельная мощности 35...40 кВт/дм<sup>3</sup>, двухступенчатый наддув, гибкая система впрыска, обеспечивающая давления впрыска топлива до 250 МПа, предпочтительно аккумуляторного типа. В связи с вышесказанным целью настоящей работы является создание топливного насоса высокого давления (ТНВД) для перспективных дизельных двигателей.

Первым этапом создания ТНВД является его расчетное исследование. Исходными данными для расчетного исследования являются следующие данные: 3D-модели составляющих ТНВД деталей, результаты гидродинамического расчёта ТНВД-аналога (ТНВД для дизеля ТМЗ) при давлении в аккумуляторе 200 МПа, патент «Устройство для привода плунжера топливного насоса высокого давления с кривошипно-ползунным механизмом (RU 2488014)».

При расчетном исследовании в первую очередь были заданы частоты вращения вала, на которых будет работать ТНВД: 2500 мин<sup>-1</sup>, 5000 мин<sup>-1</sup>, 7500 мин<sup>-1</sup>. На этих частотах был проведён кинематический расчёт, в результате которых были построены диаграммы зависимостей скоростей, ускорений и перемещений ползуна толкателя от угла поворота эксцентрикового вала. Далее был выполнен динамический анализ воздействия сил на один плунжер ТНВД, который позволил выстроить зависимости боковой, касательной, тангенциальной нагрузок от угла поворота вала. Расчетом ТНВД установлено, что максимальная скорость ползуна толкателя составляет 1,5, 3 и 4,5 м/с при 2500, 5000, 7500 мин<sup>-1</sup> соответственно. В дальнейшем будет проводиться гидродинамический расчёт по экспериментальным данным с целью расчёта на износ деталей насоса.

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ (КГУ) НА БАЗЕ ГАЗОПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ**

**А.П. Советов, Ю.Е. Хрящёв**

Научный руководитель – Ю.Е. Хрящев, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Для одновременной выработки тепловой и электрической энергии в сфере энергетики используются ТЭЦ. При помощи ТЭЦ до 90 % тепловой и электрической энергией снабжаются промышленные предприятия, объекты жилищно-коммунального хозяйства. Иногда на различных промышленных и гражданских объектах технологически требуется для обеспечения энергобезопасности автономные (независимые) энергетические установки, вырабатывающие тепловую и электрическую энергию от 100 кВт до 1 МВт в одном агрегате. При этом характер потребления энергии может иметь сильно переменный характер. ТЭЦ с ДВС это когенерационная установка (КГУ). КГУ представляет собой ДВС с электрогенератором на одном валу с ним. ДВС, используемый для КГУ, как правило, является газопоршневым. В энергетической промышленности сложился целый пласт крупных предприятий разрабатывающих и выпускающих КГУ различного назначения и мощности. Выпускаемые КГУ хорошо себя зарекомендовали в различных областях их применения, но вместе с тем необходимо отметить, что у всех устройств имеется существенный недостаток, а именно невозможность эффективного осуществления следующих режимов:

- выработка только тепловой энергии;
- выработка только электроэнергии.

Эффективно решить проблему низкоэффективной работы КГУ при работе на режимах выработки только тепловой и электрической энергии можно путем разработки новых их схем с применением специальных энергетических устройств и новых систем управления. Кроме этого, используя различные энергетические устройства, можно организовать работу газопоршневого ДВС КГУ на различных видах газа: природный, свальный, биогаз.

Разработаны алгоритмы управления, обеспечивающие функционирование системы управления высокоэффективной КГУ с возможностью реализации различных режимов её работы по выработке тепловой и электрической энергии и на различных видах газового топлива: 1) одновременная выработка тепловой и электрической энергии; 2) выработка, в основном, тепловой энергии; 3) выработка, в основном, электрической энергии.

**РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННОЙ  
ЭЛЕКТРОННО-МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
ТРАНСПОРТНОГО ДИЗЕЛЯ**

**О.Н. Соколов, Ю.Е. Хрящев**

Научный руководитель – Ю.Е. Хрящёв, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

В настоящее время существуют две области использования транспортных дизельных двигателей, в которых есть необходимость применения комбинированных электронно-механических систем управления с целью повышения надежности транспортных средств и обеспечения их живучести.

Первой областью является использование транспортного средства в условиях крайнего севера и Сибири, то есть на трассах большой протяженности в слабо заселенной местности, где недостаточно развита сервисная сеть, актуальными являются проблемы обеспечения самостоятельного движения транспортного средства до ближайшей станции технического обслуживания или гаража в случае отказа электронной системы управления дизелем.

Второй областью применения комбинированных систем управления является техника специального назначения, в том числе военная. В настоящее время является актуальным вопрос электромагнитной безопасности систем управления транспортными средствами, в связи с их слабой защищенностью от различных электромагнитных воздействий.

С целью сохранения возможности работы двигателя в «гражданском» режиме и обеспечения требований экологичности и экономичности, а также при переходе на «аварийный» режим работы необходимо использование комбинированной системы управления, а так как в настоящее время, на транспортных дизельных двигателях наиболее распространены системы управления и топливоподачи аккумуляторного типа, то очевидна необходимость обеспечения работы данной системы в «аварийном» режиме с сохранением ее полной функциональности до перехода в данный режим работы, а также одной из задач является минимальное внедрение в компоненты данной системы.

## **ОСОБЕННОСТИ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКОЙ**

**М.В. Тихомиров, Ю.Е. Хрящев**

Научный руководитель – Ю.Е. Хрящев, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

При разработке электронных систем автоматического управления дизелем в составе с дизель-генераторной установкой возникает необходимость создания алгоритмов, соответствующих жестким требованиям ГОСТ 10511-83 «Системы автоматического регулирования частоты вращения судовых, тепловозных и промышленных дизелей», в соответствии с которым можно сформулировать следующие требования к разрабатываемым алгоритмам: работа по регуляторной характеристике с заданной степенью неравномерности 0-6 %, стабильность частоты вращения на установившемся режиме, минимальный заброс частоты вращения при сбросе и набросе нагрузки с минимальным временем переходного процесса.

Использование в качестве регулятора частоты вращения классического ПИД-регулятора не обеспечивает требуемой стабильности частоты вращения на разных нагрузках, поскольку на холостом ходу резко повышается отклик частоты вращения на случайные составляющие крутящего момента дизеля, что уменьшает запас устойчивости вплоть до ее потери. Для обеспечения устойчивой работы дизеля на холостом ходу требуется динамическая подстройка коэффициентов ПИД-регулятора частоты вращения в зависимости от нагрузки. Такая подстройка также способствует уменьшению забросов частоты вращения при резком изменении нагрузки. Она осуществляется путем увеличения значений пропорциональной и интегральной составляющей коэффициентов ПИД-регулятора при отклонении частоты вращения от заданной. Дальнейшее уменьшение забросов частоты вращения возможно при использовании в регуляторе дополнительно сигнала изменения мощности в качестве обратной связи.

Испытания разработанных алгоритмов производились на ЭСУ-1 – первой отечественной серийно выпущенной электронной системе управления автомобильными дизелями ЯМЗ 656.10 и ЯМЗ 658.10. Система показала соответствие первому классу точности для промышленных дизелей по ГОСТ 10511-83: нестабильность частоты вращения 0,5 %; заброс частоты вращения при набросе нагрузки –  $40 \text{ мин}^{-1}$  (2,7 %); заброс частоты вращения при сбросе нагрузки –  $70 \text{ мин}^{-1}$  (4,7 %); длительность переходного процесса – 1 с.



**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ  
В ТЕПЛООБМЕННИКЕ-УТИЛИЗАТОРЕ ТЕПЛОТЫ  
ОТРАБОТАННЫХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЬНОЙ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ  
УСТАНОВКИ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА МЕТОДАМИ  
КОМПЬЮТЕРНОЙ ГИДРОГАЗОДИНАМИКИ**

**В.С. Фавстов, А.А. Павлов**

Научный руководитель – А.А. Павлов, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Основными теплогенерирующими элементами компактной дизельной когенерационной установки являются система охлаждения дизельного двигателя внутреннего сгорания и теплообменник-утилизатор теплоты отработанных газов. В качестве теплообменника-утилизатора теплоты отработанных газов используется специально разработанная для этих целей компактная и эффективная его конструкция, создание которой невозможно без многовариантного расчетного исследования. В связи с этим целью работы является исследование гидрогазодинамических и теплообменных процессов, протекающих в полостях теплообменника-утилизатора теплоты отработанных газов для формирования его наиболее совершенной конструкции.

С активным развитием технологий математического моделирования, в основе которых лежат численные методы решения фундаментальных систем дифференциальных уравнений гидрогазодинамики появилась возможность определять характеристики течения жидких и газообразных сред с выявлениями особенностей теплообмена между ними и твердыми поверхностями. В результате для каждой точки исследуемой области определяются скорости газа (вычисляются величины и направления), давление жидкой или газообразной среды, их температуры, а также коэффициенты теплопередачи от одного теплоносителя к другому, и передаваемые в результате теплообмена тепловые потоки.

В итоге в представленной работе методом компьютерной гидрогазодинамики исследованы гидрогазодинамические и теплообменные процессы, протекающие в полостях теплообменника. При исследовании выявлена неравномерность расходов ОЖ между трубками теплопередающего элемента теплообменника. Установлена эффективность различных конструктивных вариантов исполнения теплопередающего элемента теплообменника. Выявлено, что у пятисекционного теплопередающего элемента теплообменника две последние секции имеют низкую эффективность. В результате предложена более компактная конструкция теплообменника, состоящая из трех секций, образованных разделительными пластинами.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАМЕР СГОРАНИЯ ВИХРЕВОГО ПРОТИВОТОЧНОГО ТИПА НА НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОМ ТОПЛИВЕ**

**Е.А. Абросимова**

Научный руководитель - И.Н. Новиков, канд. техн. наук, ст. преподаватель  
*Рыбинский государственный авиационный технический университет  
им. П.А. Соловьева*

По техническим заданиям нескольких предприятий была разработана камера сгорания вихревого противоточного типа (КСВП), предназначенная для сжигания пиролизного газа, получаемого в процессе переработки органических отходов, с получением товарного продукта. В основу рабочего процесса камеры сжигания (КС) взят процесс и конструкция двухступенчатой КСВП по ранее разработанной комплексной математической модели.

На первом этапе создания КС был проведён эксперимент по сжиганию пиролизного газа. Результаты испытаний на промышленной установке по получению технического углерода предприятия ЗАО ВНИИДРЕВ указали на высокую степень очистки продуктов сгорания на выходе из КС.

На втором этапе были проведены испытания КСВП на промышленной установке по получению активированного угля из отходов древесины. В зависимости от вида исходной породы древесины и используемого технологического процесса, может быть получен активированный уголь, соответствующий маркам БАУ или БАУ-А.

В данной установке сырьё нагревается до температуры не менее 650 °С, при которой происходит процесс карбонизации. Полученный в результате карбонизации горячий твердый продукт - карбонизат - подвергается воздействию активирующего агента. Технологический процесс реализуется непрерывно в замкнутом объёме кольцевого реактора. Энергетическая эффективность процесса повышается за счёт обеспечения одновременного подвода внешнего и внутреннего потоков теплоты к перерабатываемому продукту. Получение активирующего агента, а также получение теплового агента, осуществляется с помощью КСВП.

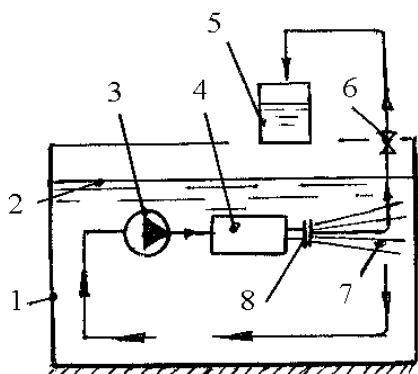
Результаты, полученные экспериментально, показали на экологическую эффективность установок по уровню выбросов и перспективность использования модификаций данной камеры сгорания для осуществления рабочего процесса в установках, использующих сжигание низкопотенциального газа.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛНОЙ СТРУКТУРЫ КОЭФФИЦИЕНТА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ В ТРУБЧАТОМ ВИХРЕВОМ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРЕ (ВТГ)

**С.В. Грибков, И.С. Веригин**

Научный руководитель - И.С. Веригин, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет.*

Данная работа является вторым (экспериментальным) этапом исследования полной структуры коэффициента преобразования избытка электрической энергии в вихревом трубчатом теплогенераторе в системах когенерационных установок, востребованных в малой энергетике, применительно к условиям малого и среднего бизнеса.



**Рис. 1. Структурная схема опытной колориметрической установки:**

- 1 – бассейн с водой; 2 – уровень воды;
  - 3 – погружной насос; 4 – вихревой ВТГ;
  - 5 – мерный сосуд; 6 – вентиль;
  - 7 – выходная струя; 8 – съёмный насадок;
- стрелками показана циркуляция воды в бассейне

Установленный на испытательном стенде (бассейн 1) трубчатый ВТГ 4, вместе с погружным насосом 3 (в едином агрегате), после пусконаладочных проверок его нормального функционирования, настраивается на нормальный режим его работы и производится измерение основных параметров системы, во время опытов, для оценки энергобаланса: активной электрической мощности, силы тока, напряжения, температуры воды в бассейне в начале и в конце опыта, воздуха в помещении лаборатории теплотехники кафедры ДВС; массы основных элементов установки (до опыта): воды в бассейне, самого бассейна, погружного насоса 3, ВТГ 4; время работы системы.

Все компоненты установки полностью погружались под уровень воды, чтобы вся теплота, выделяемая ВТГ (поз. 4) поглощалась водой в бассейне, что определялось необходимостью оперативного сведения (расчёта) энергобаланса и вычисления коэффициента преобразования энергии, с учётом анализа уравнения Бернулли. Мерный сосуд 5 служит для оценки средней скорости энергоносителя на выходе из съёмного насадка 8. Полный коэффициент преобразования энергии, в сравнении с паспортными данными насоса 3, составил 1,2 (120 %).

## О ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ В ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ

А.И. Лежнёв, И.С. Веригин

Научный руководитель – И.С. Веригин, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Цель работы состоит в аналитическом исследовании имеющейся информации по утилизации ТБО с получением тепловой и электрической энергии с помощью плазмотронов. Создание энергетики, основанной на применении возобновляемых источников энергии, стимулируется недостатком традиционных невозобновляемых топливно-энергетических ресурсов и движением в защиту экологии. Наличие промышленной базы, способной производить практически все виды оборудования для нетрадиционной энергетики, создаёт реальные условия для решения этой задачи.

В последнее время, за рубежом и в России, возрастает интерес к разработке и созданию на базе плазменных процессов новых экологически безопасных технологий, о чём свидетельствует интенсивный рост научных и патентных публикаций в данной области, что стимулирует увеличение промышленного применения мощных плазменных установок для этих целей.

Примечательно, что твёрдые бытовые и производственные отходы (ТБО) имеют существенный потенциал как возобновляемый источник энергии, но высокотемпературный **пиролиз** – сложная техническая задача, так как подвод дополнительной теплоты возможен только за счёт весьма энергоёмких способов: прямого электронагрева или плазменных технологий. Наиболее перспективной технологией утилизации отходов является **плазмохимическая технология** основанная на высокотемпературном плазмохимическом воздействии и полном разложении утилизируемых продуктов с помощью дуговой плазмы с получением полезного продукта, синтез-газа.

Уровень развития плазмотронной техники, в настоящее время, позволяет создавать мощные электродуговые нагреватели газов, устойчиво и надёжно работающие в течении длительного времени, которые занимают своё место в технологиях переработки ТБО с получением тепловой и электрической энергии. Так, например, при высокотемпературном паровом пиролизе, в котором в качестве плазмообразующего газа используется водяной пар, процесс становится полностью контролируемым и управляемым, что очень важно для переработки ТБО переменного химического состава.

В настоящее время, в основном, внедрены в реальное производство плазмотроны небольших мощностей, но перспективы их развития весьма обнадеживающие.

## О СОВРЕМЕННОМ СОСТОЯНИИ ПИРОЛИЗНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЁРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ (ТБО), ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

А.И. Лежнёв, И.С. Веригин

Научный руководитель – И.С. Веригин, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Рассмотрено состояние и перспективы развития **пиролизного способа переработки** ТБО в сравнении с другими способами и применение пирогаза в качестве альтернативного возобновляемого топлива в котельных топках.

**Пиролиз** – разложение, распад – превращение органических соединений (в том числе ТБО), сопровождающееся их деструкцией, протекающей под действием высоких температур (несколько сотен градусов Цельсия) в отсутствии химических реагентов или воздействия физических факторов – света, радиации и др. с образованием горючего пирогаза. При высокотемпературном пиролизе из всех видов органического сырья, входящего в состав ТБО в любом соотношении отдельных компонентов, образуется **пиролизный газ (пирогаз)** практически одинакового состава, представляющий собой смесь горючих газов (в основном монооксида углерода – СО и водорода –  $H_2$ , а в зависимости от условий процесса могут образовываться метан –  $CH_4$ , этилен –  $C_2H_4$  и присутствовать негорючие (инертные) газы (диоксид углерода –  $CO_2$  и азот –  $N_2$ ). Это означает, что в одном и том же пиролизном реакторе могут перерабатываться отходы любой морфологии (состава) и можно использовать полученный синтетический газ (синтез-газ) для превращения его, уже при сгорании, в тепловую или электрическую энергию по стандартным схемам применения природного горючего газа с теми же (на сегодня приемлемыми) экологическими нагрузками на окружающую среду.

Хотя теплотворная способность пирогаза из ТБО в три-четыре раза ниже, чем у природного, вырабатываемого при этом тепла достаточно не только на самоподдержание реакции пиролиза (примерно 15-25 процентов для реальных составов топлива) но и на выработку товарного тепла и электроэнергии, продажа которых значительно повышает привлекательность технологии. Однако из-за дороговизны технологического оборудования для получения пирогаза этот способ уступает более перспективным плазмохимическим технологиям.

## **О СОВРЕМЕННОМ СОСТОЯНИИ ГАЗИФИКАЦИИ В ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЁРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ (ТБО), ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АСПЕКТ**

**А.И. Лежнёв, И.С. Веригин**

Научный руководитель – И.С. Веригин, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

В работе дано аналитическое исследование имеющейся информации по утилизации ТБО путём **газификации**, перспективы её развития в сравнении с другими способами получения альтернативного возобновляемого газообразного топлива для топочных устройств теплоэнерготехнологий.

**Газификация** – превращение органических соединений (в том числе ТБО) в **горючие газы** окислением их воздухом, кислородом, водяным паром, углекислым газом или их смесью, называемыми **генераторными**, так как производятся они в специальных аппаратах – газогенераторах с расходом окислителя ниже стехиометрического и получением твёрдого или расплавленного минерального продукта.

Процесс газификации протекает при высоком энергетическом КПД (90 % и выше), малых линейных скоростях газового потока в реакторе (газогенераторе), которые обеспечивают крайне низкий вынос пылевых частиц с продуктом – газом, что даёт возможность значительно сократить капитальные затраты на газоочистное и энергетическое оборудование; в отдельных вариантах, когда требуется проводить очистку газовых выбросов от соединений серы, хлора, фтора, пыли, и паров ртути, очищать продукт – газ оказывается проще, чем дымовые газы при сжигании, благодаря низкой температуре, на порядок меньшему объёму и более высокой концентрации загрязнителей; при этом, сера присутствует в продукте – газе в восстановленных формах ( $H_2S$ ,  $COS$ ), которые значительно проще поглотить, чем  $SO_2$ ; при газификации происходит частичное разложение азотосодержащих органических соединений в бескислородной среде, что даёт меньше оксидов азота в дымовых газах.

Термическая газификация – единственная, на сегодня, альтернатива прямому (пламенному) сжиганию отходов до полномасштабного развития и внедрения плазмотронов, совершенство которых, судя по опубликованным данным, находится на начальном этапе в объёме небольших по мощности полупромышленных установок, описание которых в публикациях носит нередко в форме рекламы.

# РАЗРАБОТКА ТЕПЛОВОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ МИНИ-ТЭЦ НА БАЗЕ ДВС С ПОЛНЫМ ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ СГОРАЕМОГО В ДВС ТОПЛИВА В ТЕПЛОВУЮ

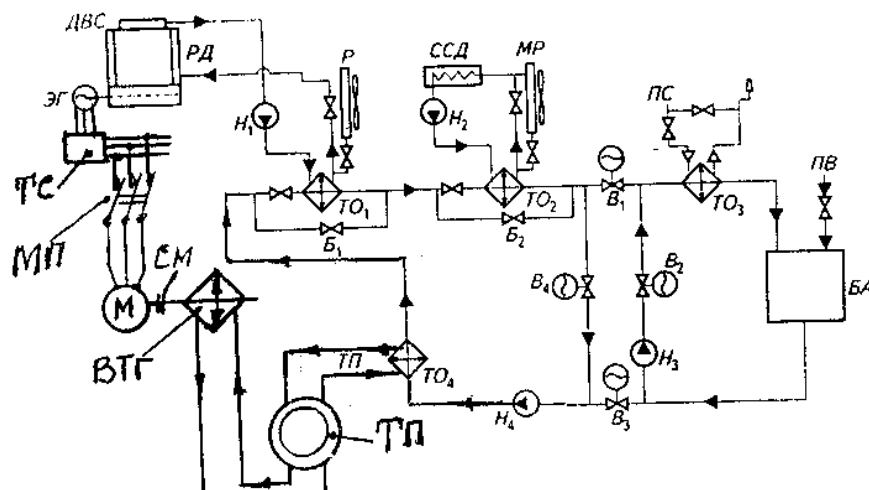
**А.Ю. Малинкина, И.С. Веригин**

Научный руководитель И.С. Веригин, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

В последние годы большой интерес проявляется к совместной выработке электрической энергии и теплоты на небольших по мощности электрических станциях (мини-ТЭЦ). В российской энергетике такой процесс называется теплофикацией, а в зарубежной – когенерацией. В зависимости от схемы энергоснабжения потребителей энергии возможны режимы работы мини-ТЭЦ: а) избыток (нет спроса) электрической энергии, а тепловой энергии недостаток (имеется повышенный спрос); б) избыток (нет спроса) тепловой энергии, а электрической энергии – недостаток (имеется повышенный спрос).

На рис. 1 представлена модернизированная классическая схема мини-ТЭЦ, где дополнительно добавлена (включена) система оборудования (поз. ТС, МП, М, СМ, ВТГ, ТП) для полного преобразования вырабатываемой электрогенератором ЭГ электрической энергии в тепловую и передачи её потребителям ТП, принимающим также, в данной схеме, и другую часть энергии ДВС (тепловую) от поз. РД, ССД, ПС, что обеспечивает непрерывную, экономически эффективную работу мини-ТЭЦ.



**Рис. 1. Структурная принципиальная тепловая технологическая схема мини-ТЭЦ на базе двигателя внутреннего сгорания с полным преобразованием энергии сгораемого в ДВС топлива в тепловую:**

ДВС – двигатель внутреннего сгорания; РД – рубашка двигателя; Р – радиатор; Н<sub>1</sub>-Н<sub>4</sub>– насосы; ТО<sub>1</sub>-ТО<sub>4</sub> - теплообменники; ССД – система смазки двигателя; МР – масляный радиатор; ПС – продукты сгорания; ПВ – подпиточная вода; БА - бак-аккумулятор; Б<sub>1</sub>- Б<sub>2</sub> - байпасные линии; В<sub>1</sub>-В<sub>4</sub> - регулировочные вентили; ТП – тепловой потребитель; ВТГ – вихревой теплогенератор; СМ – соединительная муфта валов электропривода и ВТГ; МП – магнитный пускатель электропривода; М – приводной электродвигатель ВТГ; ТС – трансформаторная подстанция; ЭГ – электрогенератор

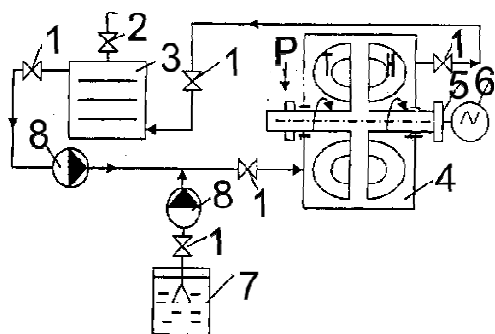
## К ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМУ ИССЛЕДОВАНИЮ ВИХРЕВОГО РОТОРНОГО ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА (ВТГ) НА ОСНОВЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТУРБОМУФТЫ КАМАЗ-5320

**Г.Н. Проскура, Е.А. Лебедев, И.С. Веригин**

Научный руководитель – И.С. Веригин, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Актуальность и практическое значение темы работы состоит в разработке и производстве мобильных вихревых теплогенераторов, предназначенных для сектора экономики в нише малого и среднего бизнеса, где установленная потребляемая мощность структурного подразделения, как правило, находится в пределах 300 кВт и ниже.

В данной работе представлены результаты первого этапа опытного исследования пилотной модульной установки, схема которой дана на рис. 1 (после этапов проектной разработки, монтажа и разработки методики определения эффективности работы исследуемого здесь ВТГ).



**Рис. 1. Структурная схема установки:**

- 1 - вентили регулировки; 2 - воздушный кран;
- 3 - отопительный прибор; 4 – гидромуфта;
- 5 - механическая муфта; 6 - приводной электродвигатель;
- 7 - бак с энергоносителем;
- 8 - насосы; Т - турбина; Н - насос

После наладочных опытов, ряд основных опытов проводился (для подтверждения их повторяемости и сходимости результатов) в следующем алгоритме, в так называемом “стоповом” режиме гидромуфты, т.е. когда турбина Т не вращается (стоит), а насосное колесо Н вращается, побуждает (активирует) энергоноситель (в данном случае воду) своими радиально расположенными лопатками во взаимодействии с такими же, но неподвижными, лопатками турбины Т.

В результате активная электрическая энергия потребляемая электродвигателем 6 и фиксируемая на мониторе электросчётчика “Меркурий 230” преобразовалась (превратилась) в тепловую, температура энергоносителя повышалась до фиксируемого предела 90 °С и опыт прекращался.

По результатам измеренных, во время опытов, параметров работы ВТГ: температур энергоносителя на входе и выходе из отопительного прибора 3, поверхностей гидромуфты, прибора 3, соединительных шлангов, энергоносителя внутри гидромуфты, окружающей среды (в лаборатории теплотехники кафедры ДВС), времени проведения опытов, объема циркулирующего внутри системы энергоносителя был сведён энергобаланс в опытах и определён коэффициент преобразования энергии, который составил  $0,9 \div 0,95$ .



## О СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДАХ ПЕРЕРАБОТКИ И ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ БЫТОВОГО И ПРОИЗВОДСТВЕННОГО МУСОРА (ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АСПЕКТ)

**А.О. Рыбаков, И.С. Веригин**

Научный руководитель – И.С. Веригин, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Актуальность и цель данной работы состоит в аналитическом (теоретическом) исследовании имеющейся информации по утилизации отходящего тепла в процессе захоронения и переработки отходов, значимой, в том числе, и для Ярославского региона.

Существующими, в настоящее время, за рубежом и в России, основными методами механизированного обезвреживания и переработки мусора являются **биотермическое компостирование** и **сжигание**, которые не лишены недостатков и были приемлемы несколько десятилетий назад, когда не было столь больших объёмов отходов и преобладающее большинство из них не составляли полимерные материалы.

Позже фирмами и научно-исследовательскими организациями в отходящих газах, пыли, шлаках, воде мусоросжигательных заводов (МСЗ) были обнаружены в значительных количествах **диоксины**, являющиеся канцерогеном и самым токсичным веществом, известным человечеству (включают более 200 изомеров, токсичны, устойчивы к разрушению, способны к накоплению в биологических цепях).

В итоге МСЗ оказались самым главным источником выбросов диоксинов и превратились в сложные дорогостоящие “химкомбинаты” по очистке дымовых газов, золы, шлаков, воды, а из-за нестабильного (непостоянного) уровня потребления вырабатываемого МСЗ тепла и электрической энергии возникают колебания нагрузки топок мусоросжигающих котлов и, как следствие, приводят к недожёгу отходов и ещё большему выбросу вредных веществ с дымовыми газами, шлаком, золой и сточными водами.

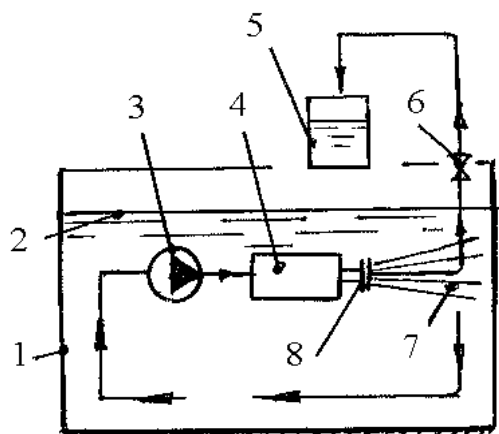
Сегодня на смену “сжигателям” приходят технологии **пиролиза** и **газификации** отходов с высоким энергетическим КПД (до 95 %), но они, тоже, являются сложными техническими задачами. Наиболее перспективной технологией утилизации отходов является плазмохимическая технология, лишённая недостатков сжигания и открывает реальные пути решения проблемы, хотя, к настоящему времени, эта технология находится на начальном этапе внедрения в полноценные технологии переработки ТБО, главным образом на относительно небольших полупромышленных установках.

# **К ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМУ АНАЛИЗУ УРАВНЕНИЯ БЕРНУЛЛИ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ МОДУЛЬНОМ ВИХРЕВОМ ТРУБЧАТОМ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРЕ (ВТГ) В СИСТЕМЕ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ**

**О.С. Сидорова, И.С. Веригин**

Научный руководитель - И.С. Веригин, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Актуальность и практическое значение темы определяется внедрением в экономику энергетических когенерационных комплексов высокой эффективности, составным элементов которых может быть вихревой теплогенератор (ВТГ), преобразующий избыток электрической энергии в тепловую и передачи её потребителям. В данной работе предложена методика учёта энергии струи 7 (рис. 1), вытекающей из опытного ВТГ 4, для наибольшей полноты использования электрической энергии, потребляемой насосом 3 и последующей опытной проверки её на экспериментальном стенде в лаборатории вихревых теплогенераторов кафедры ДВС.



**Рис. 1. Структурная схема опытной колориметрической установки:**

1 – бассейн с водой; 2 – уровень воды; 3 – погружной насос; 4 – вихревой ВТГ; 5 – мерный сосуд; 6 – вентиль; 7 – выходная струя; 8 – съёмный насадок; стрелками показана циркуляция воды в бассейне

Предлагаемая методика позволяет учесть долю механической энергии струи 7, вытекающей из насадка 8 (см. рис. 1) и направленной, например, на лопатки специальной гидротурбины, то при минимальном её КПД, равном 0,70, можно дополнительно, кроме тепловой, получить полезной механической мощности на валу гидротурбины, по предварительной оценке порядка 20 %.

Полная механическая энергия вытекающей струи 7 по уравнению Бернулли оценивается по выражению, Вт

$$E = \left( \frac{M\bar{W}^2}{2} \right) + MgZ + pV,$$

где первый член уравнения есть кинетическая энергия струи на входе в гидротурбину; второй член – потенциальная энергия положения струи (потока) над плоскостью сравнения (нижнее днище бассейна 1); третий член – потенциальная энергия давления потока.

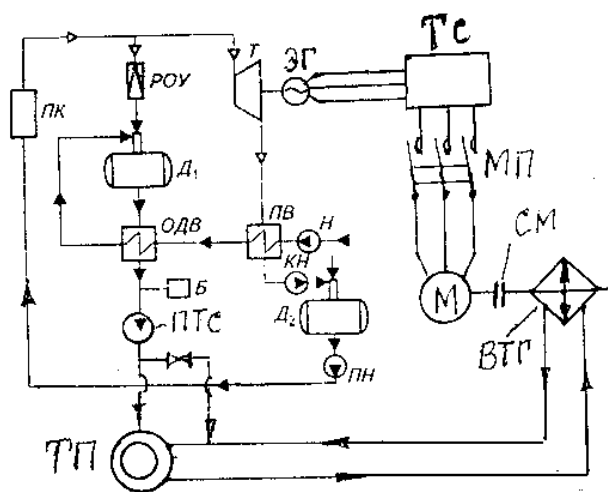
# **РАЗРАБОТКА ТЕПЛОВОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ МИНИ-ТЭЦ НА БАЗЕ ПАРОВОЙ ПРОТИВОДАВЛЕНЧЕСКОЙ ТУРБИНЫ И ВИХРЕВОГО ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА (ВТГ) С ОТКРЫТОЙ СИСТЕМОЙ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

**И.Н. Харитонов, И.С. Веригин**

Научный руководитель - И.С. Веригин, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

В последнее время разработаны и реализуются, в малой энергетике, в нише малого и среднего бизнеса, тепловые схемы мини-ТЭЦ на базе относительно маломощных противоаварийных паровых турбин с предусмотренными связями, по различным потокам, с тепловыми схемами котельных, при которых создаются мини-ТЭЦ. Конкретная тепловая схема мини-ТЭЦ, с противоаварийной турбиной, зависит от вида и величины тепловых нагрузок потребителей.

Для малых нагрузок потребителей тепла существенной проблемой может быть неравномерность, во времени, полной нагрузки установленной мощности паровой турбины по тепловой и электрической её частям: в частности отсутствие потребности в электрической энергии и недостаток в потребности тепла, а частые остановки мини-ТЭЦ, в рыночных условиях, невыгодны котельной в целом.



**Рис. 1. Структурная принципиальная тепловая схема мини-ТЭЦ на базе паровой противоаварийной турбины и ВТГ с открытой системой теплоснабжения:** ПК – паровой котел; РОУ – редуцирующе-охлаждающая установка; Т – турбина; ЭГ – электрогенератор; ТС – трансформатор; МП – магнитный пускатель; ПВ – пароводяной подогреватель сырой воды; КН – конденсатный насос; М – приводной электродвигатель ВТГ; СМ – муфта соединительная с валом ВТГ; ВТГ – вихревой теплогенератор; Д<sub>2</sub> – питательный деаэративной воды; Б – бак-аккумулятор воды; ОДВ – охладитель деаэрированной воды; Д<sub>1</sub> – подпиточный деаэративной воды

ОДВ – охладитель деаэрированной воды; Д<sub>1</sub> – подпиточный деаэративной воды

На рис. 1 представлена предлагаемая модернизированная схема мини-ТЭЦ с маломощной противоаварийной турбиной, с включенным в схему системы оборудования ВТГ, для обеспечения непрерывной работы энергокомплекса в случае избытка производимой электрической энергии и недостатка, на рынке сбыта, тепловой энергии (поз. ТС, МП, М, СМ, ВТГ, ТП).

## **КОНВЕРТАЦИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ В СУДОВОЙ**

**И.С. Басалов, В.П. Тимашов, Б.С. Антропов**

Научный руководитель – Б.С. Антропов, д-р техн. наук, профессор  
*Ярославский государственный технический университет*

Согласно хоздоговору между ЯГТУ и ООО «Производственная компания «Автодизель-сервис-Центр» проводилось исследование, направленное на изучение возможности применения дизельных двигателей ОАО «Автодизель» (ЯМЗ) в качестве главных и вспомогательных двигателей в составе энергетических установок судов.

Предварительный анализ показал, что наиболее близкие параметры (номинальная мощность и частота вращения) к дизельным двигателям, реально используемым в составе главных судовых энергетических установок на 74 судах, эксплуатирующихся под надзором Северо-Западной Инспекции Российского Речного Регистра имеют двигатели семейства ЯМЗ-7511.

Наиболее близкие параметры по мощности и частоте вращения с двигателями серии ЯМЗ-7511 имеют двигатели марок 6,12Ч(Н)15/18, 6,8ЧСП(П) 18/22. Кроме отечественных двигателей, дизели типа 8ЧН13/14 могут быть установлены взамен импортных двигателей производства фирмы SKL: 6VD18/15A-1; 6VD18/15AL-1; 6,8NVD26A-3, фирмы Skoda: 6C160; 6L275 и др. Также имеется возможность применения указанной марки дизеля в качестве вспомогательных двигателей.

Сравнение технических характеристик двигателя модели ЯМЗ-7511 и его конструкции с требованиями, предъявляемыми Правилами Речного Регистра показывает, что в основном двигатель им соответствует, но необходимо провести некоторые модернизации: Оснастить двигатель двухконтурной жидкостной системой охлаждения с заменой водо-воздушного радиатора системы охлаждения водо-водяным холодильником. Оснастить двигатель системой аварийно-предупредительной сигнализации и дистанционным управлением. Для двигателей, используемых в составе дизель-генераторных станций предусмотреть возможность автоматического запуска. Установить термометры наддувочного воздуха и краники для спуска конденсата. Провести модернизацию топливной системы путем установки защитных экранов. Установить дополнительные измерительные приборы, предусмотренные Правилами Регистра. Установить тепловую изоляцию на выпускные коллекторы для обеспечения безопасных условий работы обслуживающего персонала. И еще некоторые доработки.

Проведенный анализ имеющихся данных позволяет сделать вывод о том, что двигатели серии ЯМЗ-7511 имеют реальную перспективу применения на флоте.

## **СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМОБИЛЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПЕШЕХОДА ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ**

**Д.С. Голиков, С.Г. Кондаков**

Научный руководитель – С.Г. Кондаков, ст. преподаватель  
*Ярославский государственный технический университет*

В настоящее время в РФ, как и во многих других развитых странах, установлены правила в области конструкции и безопасности колесных транспортных средств. Цель - обеспечение требуемого уровня конструктивной и эксплуатационной безопасности автомобиля для снижения вероятности и тяжести травмирования участников ДТП.

В большинстве случаев удар при наезде наносится деталями передней торцевой поверхности автомобиля. В момент удара энергия автомобиля передается телу пострадавшего.

На автомобиле проводится несколько испытаний для проверки безопасности передней части автомобиля по отношению к пешеходу.

Подушка безопасности передней кромки капота позволяет существенно снизить риск травмирования бедра пешехода, т.к. она предотвращает жесткое соприкосновение этой части тела с твердой и не податливой передней кромкой капота особенно в центральной части, за которой расположен замок фиксации капота, который слабо деформируется при ударе пешехода об переднюю кромку капота.

Подушка безопасности задней кромки капота была разработана фирмой Volvo и применена на автомобиле Volvo V40. Система работает при скорости 20-45 км/ч и позволяет значительно снизить травмы пешехода при столкновении с автомобилем.

Систему поднятия капота в зоне задней кромки используют многие фирмы, такие как Volvo, Jaguar, Mercedes-Benz, BMW, Citroen, Peugeot, Honda. Данная система, помимо защиты ноги пешехода, способствует уменьшению степени травмированности головы пешехода при контакте с капотом.

Автомобильные производители, заботясь о безопасности пешеходов, помимо внедрения различных систем активной и пассивной безопасности, также работают и над совершенствованием конструкции автомобилей, в частности, над внутренней частью (усилителем) капота. Она оказывает значительное влияние при испытаниях головы пешехода, т.к. во многих точках попадают те жесткие элементы усилителя, которые не способны обеспечить требуемый уровень травмированности головы.

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ВИБРАЦИОННОГО ВАЛЬЦА КАТКА DM-62

**А.С. Карпов, И.С. Тюремнов**

Научный руководитель - И.С. Тюремнов, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Вибрационные грунтовые катки широко применяются для уплотнения грунтов в транспортном строительстве. Вибровозбудители современных вибрационных катков генерируют вынуждающие усилия до 530 000 Н. При таких вынуждающих усилиях подшипники вибровала испытывают сильные нагрузки, что приводит к их перегреву и выходу из строя.

Вибровозбудитель грунтового вибрационного катка DM-62 реализует вынуждающее усилие 215 000 Н при частоте вращения 1800 об/мин. Практика эксплуатации показала, что в процессе работы температура подшипниковых узлов достигает 140 °С, что приводит к заклиниванию подшипников. Предприятие-изготовитель предложило кафедре СДМ разработать проект модернизации вибрационного вальца катка DM-62.

Для решения проблемы было решено перейти от двухопорной схемы установки вибровала к четырехопорной, выбрать другой типоразмер подшипников и изменить геометрию дебалансов.

В результате проведенной модернизации вибрационного вальца катка DM-62 и перехода от двухопорной к четырехопорной схеме установки вала, вибровал был разделен на два полувала, соединяемых зубчатой муфтой; уменьшены диаметры полуvalов под посадку подшипников со 130 до 90 мм, что позволило использовать меньший типоразмер подшипников. Также использование двух коротких полуvalов вместо одного длинного вала позволило практически исключить прогиб полуvalов и сделало возможным применение вместо однорядных роликовых самоустанавливающихся подшипников однорядных роликовых подшипников, характеризующихся существенно меньшей стоимостью. Реализация данных мероприятий привела к снижению на 30 % расчетной мощности, затрачиваемой на поддержание вращения и, соответственно, тепловыделение в подшипниках и уменьшению на 40 % массы вибровала.

Уменьшение диаметра вибровала также позволило изменить геометрию подвижного и неподвижного дебалансов и уменьшить момент инерции при разгоне вибровала до номинальных оборотов, что на 30% снизило требуемую мощность на разгон вибровала.

Переход от двухопорной к четырехопорной схеме установки вибровала позволит снизить температуру подшипниковых узлов также и за счет того, за счет снижения общей потребляемой мощности на 30 % и распределения её не на 2, а на 4 подшипника тепловыделение в каждом подшипнике после модернизации ожидаемо снизиться до 35 % от первоначального.

## ОБОРУДОВАНИЕ БУЛЬДОЗЕРА-ПОГРУЗЧИКА

**А.В. Морозова**

Научный руководитель – Е.В. Курилов, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Одной из наиболее трудоемких и маломеханизированных операций в общем комплексе работ по летней уборке городских дорог, является очистка их лотковой полосы от грунтовых наносов, образующихся в межсезонное время года. При этом существующие подметально-уборочные машины не предназначены для выполнения этих работ.

Для решения этой задачи на кафедре «Строительные и дорожные машины» ЯГТУ разработана конструкция оборудования, состоящая из очистителя лотка и ковша-подборщика, которая монтируется на базе погрузчика ДЗ-160. Ковш-подборщик устанавливается спереди на оборудовании фронтального погрузчика, а очиститель лотка – сзади на универсальной подвеске. Такое техническое решение позволяет производить работы по раздельной технологии: сначала очиститель лотка отделяет грунтовые наносы от лотковой полосы дороги, образуя непрерывный валок, затем, с помощью ковша-подборщика, производится погрузка грунта в автотранспортное средство.

Очиститель лотка состоит из рамы и корпуса, оснащённого косо установленными к направлению движения бульдозера-погрузчика ножом и эластичным скребком, выполненным из толстослойной резины. Кроме этого на корпусе закреплен угловой нож и буфер.

Основу ковша-подборщика составляет ковш челюстного типа, состоящий из прямого (лобового) отвала, к которому шарнирно крепится заслонка, управляемая гидроцилиндрами, размещёнными с тыльной стороны отвала. При этом на боковых сторонах заслонки закреплены кронштейны, на которых установлены два свободно вращающихся дисковых ножа, выполняющих роль боковых стенок ковша, при наборе грунта из непрерывного валка.

Оборудование бульдозера-погрузчика обеспечивает следующие преимущества:

- простоту и надежность конструкции в эксплуатации;
- мобильность и манёвренность базовой машины;
- повышение качества очистки автодорог от грунтовых наносов;
- устраняет применение ручного труда при производстве работ;
- расширяет технологические возможности базовой машины.

## **ДИСКОВЫЙ НОЖ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ**

**М.О. Новиков, Д.В. Фурманов**

Научный руководитель – Д.В. Фурманов, ст. преподаватель  
*Ярославский государственный технический университет*

На сегодняшний день во всем мире ведутся работы по прокладке и ремонту подземных коммуникаций, в том числе укладка кабеля, водопровода, газопровода и т.д. Данный вид работ сопровождается достаточно трудоемкой операцией – удаление асфальтобетонного покрытия, которая включает в себя нарезку швов в асфальтобетоне с последующим удалением.

В настоящее время операция по нарезание швов в асфальтобетоне осуществляется при помощи цепного траншейного экскаватора, фрезерной машиной или резчиками швов. Основными недостатками, которых являются: высокий износ дорогостоящих режущих элементов, низкий уровень безопасности и высокая удельная себестоимость работ.

Выявленные недостатки заставляют искать новые решения, одно из которых было предложено коллективом кафедры «Строительные и дорожные машины» Ярославского государственного технического университета. Суть решения заключается в использовании дискового самовращающегося ножа в качестве основного режущего элемента. Конструкция оборудования представляет собой 400-миллиметровый диск с углом заострения  $8^0$  и толщиной 6 мм, закрепленный на оси между двумя металлическими пластинами. Создавался дисковый самовращающийся нож с учетом агрегирования с экскаватором и использованием его в дальнейшем в качестве сменного рабочего органа базовой машины.

После проведения ряда испытаний было установлено, что на нарезание шва длиной 45 метров и глубиной 170 мм уходит менее 20 минут, что позволяет сделать вывод о высокой производительности оборудования. Данное преимущество над уже существующими методами разработки асфальтобетона не является единственным. Кроме этого, конструкция дискового ножа является достаточно простой и не требует сложных и дорогостоящих операций при изготовлении. Дисковый нож является сменным рабочим органом машины, т.е. одним экскаватором мы можем нарезать шов, а затем, поменяв рабочий орган, удалить асфальтобетонное покрытие. В связи с чем уменьшаются экономические затраты связанные с транспортировкой и эксплуатацией дорожной техники. Метод разработки асфальтобетона дисковым ножом является безопасным для персонала.

Таким образом, испытание опытного образца наглядно показало эффективность оборудования с большими экономическими и технологическими преимуществами, что, несомненно, создает предпосылки для дальнейшего развития и использования данного оборудования.



## **ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ МЕТОДИКИ ОБОСНОВАНИЯ ВЫБОРА ВИБРОПЛИТЫ ДЛЯ УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТА**

**А.А. Новичихин, И.С. Тюремнов**

Научный руководитель – И.С. Тюремнов, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Современное строительство не обходится без производства работ по уплотнению грунта. В стесненных условиях для уплотнения грунта целесообразно применять виброплиты.

При выборе виброплиты возникает проблема прогнозирования её уплотняющей способности, то есть обеспечения для конкретного вида грунта требуемого значения коэффициента уплотнения в слое заданной толщины. В рекомендациях производителей виброплит указывается, как правило, только значение толщины уплотняемого слоя для различных типов грунтов без конкретизации достигаемого коэффициента уплотнения и требуемого числа проходов виброплиты.

В связи с этим представляется актуальной разработка методики обоснования выбора виброплиты для уплотнения грунта в конкретных условиях и назначения режимов ее работы. При этом использование для решения данной задачи известных методик аналогичного назначения для виброкатков невозможно, поскольку, несмотря на схожий принцип функционирования, уплотнение грунтов виброплитами имеет свои особенности. Так у виброкатков рабочий орган (вибровалец) имеет цилиндрическую форму, а рабочая поверхность виброплиты – плоская, что влияет на значение контактных напряжений. У виброкатков на одну тонну массы вибровальца приходится 30-50 кН вынуждающего усилия, а у виброплит 100-200 кН, что приводит к работе виброплиты в существенно более выраженном виброударном режиме. Статическое давление виброплит в среднем в 35 раз меньше, чем у виброкатков, что также говорит о существенно меньшей статической составляющей уплотнения при использовании виброплит.

Таким образом, использование методик расчета виброкатков в применении к вибрационным плитам может быть возможным после учета вышеперечисленных факторов.

## **МЕТОДЫ РАЗРУШЕНИЯ И УТИЛИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**Ж.Ж. Сайфиддинов, Д.В. Фурманов**

Научный руководитель – Д.В. Фурманов, ст. преподаватель  
*Ярославский государственный технический университет*

В настоящее время свободных для строительства площадок, особенно в условиях городской застройки, становится все меньше. Для возведения новых зданий и сооружений приходится сносить старые объекты, которые уже не соответствуют нормам безопасности, рациональной эксплуатации и экономически невыгодны. Новые, более жесткие требования безопасности к сносу строительных конструкций, послужили толчком к серийному производству нового типа оборудования, способного решать задачи по безопасному разрушению элементов конструкций зданий и сооружений.

На сегодняшний день наиболее востребованным оборудованием являются гидравлические ножницы, предназначенные для разрушения гражданских и промышленных зданий из железобетонных конструкций, отделение бетона от арматуры для дальнейшей утилизации.

Существуют недостатки данного оборудования, мешающие их широкому распространению. К которым можно отнести: сложность конструкции гидравлических ножниц, особенно механизма поворота и сменные ножи из высококачественных сталей, что делают такое оборудование достаточно дорогим. Вторым существенным недостатком является требование о наличии дополнительной гидравлической линии для питания механизма поворота, что усложняет конструкцию экскаватора.

Таким образом, в настоящее время назрела необходимость создания эффективных моделей рабочего оборудования для разрушения железобетонных изделий, обладающее низкой стоимостью, высокой эффективностью и производительностью, не требующее долгих процедур наладки и установки.

Примером таких устройств являются различного рода установки для срезки оголовков свай, дробления шпал и столбов, подвешиваемые на ковше экскаватора.

Недостаток подобных машин один – узкая специализация. При незначительной модернизации данного оборудования на кафедре «Строительные и дорожные машины» Ярославского государственного технического университета разработан строительный пресс широкого применения, который помимо разрушения железобетонных элементов способен проводить работы по разрушению элементов зданий и сооружений, срезки арматуры и утилизации отходов бетона и железобетона.

## НАКОПИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛУСФЕРИЧЕСКИХ ОТВАЛОВ БУЛЬДОЗЕРОВ

**Д.И. Трошин**

Научный руководитель – Е.В. Курилов, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

С целью повышения эффективности современные бульдозеры оснащаются полусферическими отвалами. Полусферический отвал традиционной конструкции (ПОТК) состоит из трех жестко соединенных между собой секций (двух крайних и средней), что приводит к его залипанию при разработке пластичных грунтов. Для устранения этого недостатка на кафедре «Строительные и дорожные машины» ЯГТУ разработана конструкция полусферического отвала с дисковыми секциями (ПОДС), у которого роль крайних секций выполняют два свободно вращающихся дисковых ножа косо установленных к направлению движения бульдозера.

Объем призмы волочения в конце процесса копания определим по формуле

$$V_n = 0,5B_0 \cdot H_0^2 \cdot \operatorname{ctg} \varphi_0 \cdot k_\varphi \cdot k_{ко} \cdot k_n,$$

где  $B_0$ ,  $H_0$  – соответственно расчетные длина и высота отвала;  $\varphi_0$  – угол естественного откоса грунта в движении;  $k_\varphi$  – коэффициент, учитывающий формы призмы волочения;  $k_{ко}$  – коэффициент, учитывающий конструкцию отвала;  $k_n$  – коэффициент наполнения геометрического объема призмы волочения.

В результате проведенных исследований получены зависимости для определения призмы волочения полусферических отвалов с рациональными конструктивными параметрами, работающих в средних грунтовых условиях (суглинков,  $\varphi_0 = 40^\circ$ ):

- ПОДС

$$V_n = 0,1B_0^3 [0,3 + 6,7(h/H_0)] [1 + 0,66(\cos \alpha / \cos \beta)];$$

- ПОТК

$$V_n = 0,1B_0^3 [0,3 + 6,7(h/H_0)] \{ 1 + 0,25(B_0/H_0) [1 - (B_c/B_0)^2] \operatorname{ctg} \alpha \},$$

где  $\alpha$  – угол захвата крайних секций;  $\beta$  – угол наклона дискового ножа;  $B_c$  – длина средней секции ПОТК;  $h$  – толщина срезаемой стружки грунта.

В результате исследований разработан метод расчета и получены экспериментально-аналитические зависимости для определения объема призмы волочения полусферических отвалов бульдозеров, что имеет существенное значение при проектировании таких рабочих органов.

## **К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

**И.Н. Федотова, И.С. Тюремнов**

Научный руководитель - И.С. Тюремнов, канд. техн. наук, доцент  
*Ярославский государственный технический университет*

Качество уплотнения грунта оказывает большое влияние на прочность, устойчивость и долговечность автомобильных и железных дорог, плотин и других объектов строительства.

До недавнего времени, контроль качества уплотнения грунта в автодорожном строительстве осуществлялся по показателю «коэффициент уплотнения». Согласно СНиП 2.05.02-85\* «Автомобильные дороги» (принятому в 1985 году и отражающему представления, сформированные в 70-80-х годах XX века) коэффициент уплотнения грунта определялся как «отношение плотности скелета грунта в конструкции к максимальной плотности скелета того же грунта при стандартном уплотнении по ГОСТ 22733-77». Несмотря на то, что показатель «коэффициент уплотнения» имеет ряд существенных недостатков, накопленный в СССР и РФ опыт проектирования и строительства позволял, в целом, обеспечивать приемлемые эксплуатационные характеристики автомобильных дорог. Однако возрастающая интенсивность движения и нагрузки на ось транспортных средств требовали перехода на другие более современные показатели оценки качества уплотнения грунта.

Однако в недавно принятом взамен СНиП 2.05.02-85\* «Автомобильные дороги» своде правил СП 34.13330.2012 «Автомобильные дороги» регламентируется определение коэффициента уплотнения грунта как «отношение фактической плотности сухого грунта в конструкции к максимальной плотности того же сухого грунта, определяемой в лаборатории при испытании методом стандартного уплотнения».

Плотность грунта не является его прочностной характеристикой. Также в нормативной литературе отсутствуют взаимосвязи плотности скелета грунта и плотности сухого грунта с достигаемыми модулями упругости слоя.

Таким образом, использование вместо характеристики «плотность скелета грунта», определяемой в соответствии с ГОСТ 22733-77 (ГОСТ 22733-2002) характеристики «плотность сухого грунта» без ссылки на методику определения создает не только не приводит к совершенствованию оценки качества уплотнения грунтов предпосылки для дальнейшего снижения качества уплотнения грунтов в строительстве и ухудшения состояния дорог в нашей стране.

## **К ВОПРОСУ ОБОСНОВАНИЯ ЗНАЧЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЖЕСТКОСТИ И ВЯЗКОСТИ ГРУНТА ПРИ РЕОЛОГИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА УПЛОТНЕНИЯ**

**И.С. Филатов, А.С. Морев, И.С. Тюремнов**

Научный руководитель – И.С. Тюремнов, канд. техн. наук, доцент

*Ярославский государственный технический университет*

При разработке методики расчета влияния характеристик вибрационных катков на эффективность уплотнения грунта в конкретных условиях возникает вопрос обоснования характеристик грунта, а именно коэффициентов жесткости и вязкости.

Проведенный обзор отечественной и зарубежной литературы показал, что значения данных коэффициентов варьируются в широких пределах и приводятся для конкретных условий уплотнения (тип грунта, вид нагружения, параметры уплотняющей машины и т.д.).

Для исследования влияния параметров вибровозбудителя и свойств грунта на эффективность уплотнения была создана одномассная реологическая модель взаимодействия вибровальца катка с уплотняемым грунтом. Результаты расчета по реологической модели представлены в виде осциллограмм перемещений, скорости и ускорений вибровальца катка.

Как показал анализ осциллограмм виброускорений вальца виброкатка, полученных при реологическом моделировании процесса уплотнения грунта, коэффициенты жесткости и вязкости оказывают существенное влияние на характер изменения виброускорений вальца катка. Изменение коэффициента жесткости влияет на значение амплитуды виброускорений, а изменение коэффициента вязкости влияет на временные характеристики виброускорений.

Таким образом, для обоснования значений коэффициентов жесткости и вязкости грунта предлагается метод подбора параметров реологической модели так, чтобы осциллограмма виброускорений вальца виброкатка была близка к осциллограмме виброускорений полученная при натурном эксперименте. Данный подход позволит получить достаточно близкие к реальным численные значения коэффициентов жесткости и вязкости грунта.

# ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИСКОВОГО СВОБОДНОВРАЩАЮЩЕГОСЯ НОЖА ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ ШВОВ В АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЯХ

**Д.В. Фурманов, Е.В. Курилов**

Научный руководитель – Е.В. Курилов, канд. техн. наук, доцент.

*Ярославский государственный технический университет*

На сегодняшний день любая строительная площадка не обходится без работ, связанных с прокладкой или заменой подземных коммуникаций, подавляющее большинство которых ведется открытым способом. Очень часто, особенно в условиях городской застройки, для этого необходимо удалять часть асфальтобетонного покрытия. Правильная технология выполнения этой операции предусматривает предварительную нарезку технологических швов с последующим удалением асфальтобетона.

Для нарезки швов в настоящее время, используются специальные машины, такие как нарезчики швов, баровые или специальные диско-фрезерные машины. Это оборудование используется часто и эффективно, однако, обладает рядом недостатков, в числе которых низкая производительность, высокая капитальная стоимость и стоимость обслуживания, большие технологические простои. Предложенное кафедрой «Строительные и дорожные машины» Ярославского государственного технического университета оборудование устанавливается вместо ковша экскаватора и работы, связанные с нарезанием швов, удалением асфальтобетона, копанием и засыпкой траншеи могут производиться одной машиной.

**Таблица 1. Основные экономические показатели использования различного оборудования для нарезки швов в асфальтобетонном покрытии**

Тип оборудования	Производительность, м/ч	Стоимость оборудования, руб.	Примерная стоимость нарезки одного метра шва, руб.
Нарезчик швов	20	52 000	166
Баровая машина	80	1390000	89
Фрезерная машина	120	1260000	76
Дисковый нож	150	26 600	24

Таким образом, представленное оборудование является инновационным устройством для нарезки швов, и может быть использовано на строительных площадках и в коммунальных хозяйствах как более дешевое, надежное и достаточно эффективное средство.

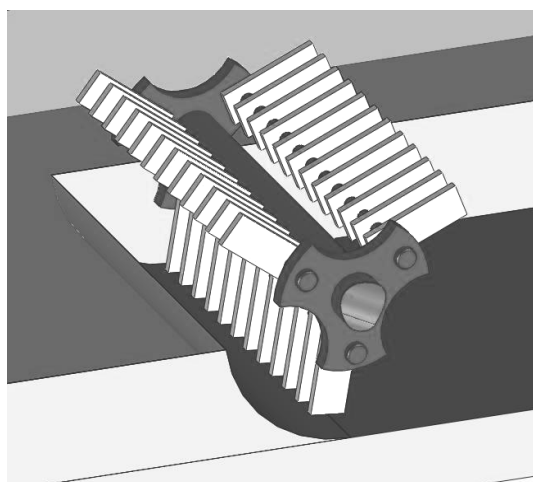
## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ ЛЕДЯНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ С ПОВЕРХНОСТИ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

Н.Д. Эралиев, Д.В. Фурманов

Научный руководитель – Д.В. Фурманов, ст. преподаватель  
*Ярославский государственный технический университет*

Появление ледяных образований и плотного снега на поверхности дорог является сложной проблемой, с которой люди сталкиваются ежегодно, однако универсального и эффективного средства для борьбы с наледью до сих пор не существует. При этом увеличиваются показатели травматизма, дорожно-транспортных происшествий, а также уменьшаются показатели производительности пассажирских перевозок, что неизбежно влечет за собой появление серьезного экономического и социального ущерба.

В настоящее время со снежными и ледяными образованиями борются следующими способами: разбрызгивание активных реагентов, антигололедных твердых материалов, удалением наледи ручными способами и применением предупреждающих способов защиты от гололеда. Выше перечисленные методы либо недостаточно эффективны, либо вредят окружающей среде, либо малопроизводительны и трудоемки.



*а*



*б*

**Рис. 1. Конструкция молоткового ротора (а)  
и испытание модели молоткового ротора (б)**

Выявленные недостатки заставляют искать новые подходы и решения. Интересное оборудование предложено коллективом кафедры «Строительные и дорожные машины» Ярославского государственного технического университета. Суть решения заключается в использовании роторов молоткового типа со свободно подвешенными молотками. Конструкция ротора представлена на рис. 1, а.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

- |   |   |   |
|---|---|---|
| 1 | <b>А.А. Ветров, Е.Ю. Отращенко.</b> РОЛЬ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА В СТАНОВЛЕНИИ И РАЗВИТИИ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ           | 3 |
| 2 | <b>Е.А. Индейкин.</b> ИННОВАЦИОННЫ ЛИ НАНОТЕХНОЛОГИИ?   | 4 |
| 3 | <b>К.В. Оксем, А.Н. Румянцев, Е.Ю. Вавилова.</b> НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС СССР 1950-1980-х ГОДОВ: ПО МАТЕРИАЛАМ ПОЧТОВЫХ МАРОК | 6 |

### СЕКЦИЯ «ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»

- |    |  |    |
|----|--|----|
| 4  | <b>А.С. Солодов, М.С. Солодов, С.Г. Кошель.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЯ НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ ХРОМОВЫХ ПОКРЫТИЙ  | 8  |
| 5  | <b>А.С. Солодов, М.С. Солодов, С.Г. Кошель.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИОННЫХ ЖИДКОСТЕЙ В КАЧЕСТВЕ ЭЛЕКТРОЛИТА ДЛЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ АНИЛИНА  | 9  |
| 6  | <b>Е.Д. Шубнякова, Ю.В. Подвальная, Е.С. Соболева.</b> ЭЛЕКТРОФОРЕТИЧЕСКОЕ НАНЕСЕНИЕ ФТОРОПЛАСТОВЫХ ПОКРЫТИЙ   | 10 |
| 7  | <b>А.Н. Вихарев, М.А. Гладченко, С.Г. Кошель.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФТОРПОЛИМЕРНЫХ ДИСПЕРСИЙ  | 11 |
| 8  | <b>М.А. Гладченко, Н.Н. Смирнова, А.Н. Вихарев.</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ АГРЕГАТИВНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ФТОРОПЛАСТОВОЙ ДИСПЕРСИИ ПО КИНЕТИКЕ СЕДИМЕНТАЦИИ  | 12 |
| 9  | <b>А.С. Смирнова, М.А. Кушина, М.А. Гладченко.</b> ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЯ НИКЕЛЯ В ПРИСУТСТВИИ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНОГО ВЕЩЕСТВА                                | 13 |
| 10 | <b>Н.Н. Смирнова, М.А. Гладченко, А.Н. Вихарев.</b> ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНОГО ВЕЩЕСТВА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ   | 14 |
| 11 | <b>М.А. Кушина, А.С. Смирнова, М.А. Гладченко.</b> ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ НА МЕДИ В СЕРНОКИСЛОМ ЭЛЕКТРОЛИТЕ МЕДНЕНИЯ В ПРИСУТСТВИИ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНОГО ВЕЩЕСТВА                | 15 |
| 12 | <b>К.М. Голиков, Н.С. Трофимов, А.С. Солодов, М.С. Солодов.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЯ НИКЕЛЯ ИЗ ИОННОЙ ЖИДКОСТИ НА ОСНОВЕ ХОЛИН ХЛОРИДА                                      | 16 |
| 13 | <b>М.В. Гришина, Я.Ю. Овчинкина, А.В. Павлов.</b> АНАЛИЗ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОЛИЗЁРА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ХЛОРАТА НАТРИЯ С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ЭЛЕКТРОДОВ                              | 17 |
| 14 | <b>Я.Ю. Овчинкина, М.В. Гришина, С.И. Карпов.</b> ЭФФЕКТ ВТЯГИВАНИЯ АНИОНОВ ПРИ ОПИСАНИИ АДСОРБЦИИ НА ЭЛЕКТРОДЕ ОРГАНИЧЕСКИХ КАТИОНОВ В РАМКАХ ОБОБЩЕННОЙ МОДЕЛИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ | 18 |
| 15 | <b>И.Ю. Рышкова.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ В ДАКТИЛОСКОПИИ   | 19 |
| 16 | <b>А.Н. Соловьёва, А.В. Павлов.</b> РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРОБОВАНИЯ МАСЛО-НАПОЛНЕННОГО МАГНИТНОГО СОРБЕНТА В КАЧЕСТВЕ ИНГИБИТОРА КОРРОЗИИ МЕТАЛЛОВ  | 20 |



17	<b>Н.М. Аблажей, И.В. Антихович.</b> АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ БУФЕРНЫЕ ДОБАВКИ ДЛЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ НИКЕЛИРОВАНИЯ	21
18	<b>В.В. Яскельчик, Е.В. Михедова.</b> ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МЕДНЫХ ПОКРЫТИЙ С ДОБАВКОЙ УДА	22
19	<b>А.В. Пянко, А.А. Сохор, В.В. Жилинский.</b> ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМИРУЕМЫХ СПЛАВОВ АЛЮМИНИЯ В БЕСХРОМОВЫХ ЭЛЕКТРОЛИТАХ	23
20	<b>В.А. Герасимович, Т.В. Харлан.</b> ИЗУЧЕНИЕ РЕФРАКЦИИ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ ЛАУРЕТ СУЛЬФАТОВ МАГНИЯ И ЦИНКА	24
21	<b>В.А. Герасимович.</b> ТУРБИДИМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ЛАУРЕТ СУЛЬФАТА МАГНИЯ	25
22	<b>П.В. Ивинская.</b> ИЗУЧЕНИЕ ПЕНООБРАЗОВАНИЯ В СИСТЕМАХ «ПРЕПАРАТ COMPERLAN KD – ВОДА»	26
23	<b>Т.В. Харлан.</b> ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА «ВОДНЫЙ РАСТВОР ЛАУРЕТ СУЛЬФАТА ЦИНКА – ВОЗДУХ»	27
24	<b>Е.А. Бухарова, Е.А. Татаринцева.</b> ИЗУЧЕНИЕ СОРБЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПЭТ ПО ОТНОШЕНИЮ К ИОНАМ Pb (II) И Cu (II)	28
25	<b>А.К. Дюсенбаева, Ш.К. Амерханова, Р. М. Шляпов.</b> СОРБЦИЯ СМЕСИ ФОСФОРСОДЕРЖАЩИХ СОБИРАТЕЛЕЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ШЛАМОВОЙ РУДЫ	29
26	<b>Д.М. Шауенова, Ш.К. Амерханова, А.С Уали.</b> КОЛЛЕКТИВНАЯ ФЛОТАЦИЯ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ РУДЫ ЖЕЗКАЗГАНСКОГО И НУРКАЗГАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ	30
27	<b>Р.К. Жаслан, А.С. Уали, Ш.К. Амерханова.</b> СОРБЦИОННАЯ ОЧИСТКА ВОД ОТ ИОНОВ РТУТИ (I, II) С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННЫХ АКТИВНЫХ УГЛЕЙ	31
28	<b>П.В. Дыленок.</b> СТАБИЛЬНОСТЬ ДИСПЕРСНЫХ МАГНИЙСИЛИКАТНЫХ СИСТЕМ	32
29	<b>Е.В. Махрова.</b> ПОЛУЧЕНИЕ ОКСИГИДРОКСИДА ЖЕЛЕЗА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЕГО ТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕГИДРАТАЦИИ	33
30	<b>Е.В. Махрова.</b> ОСОБЕННОСТИ СОСТОЯНИЯ МОЛЕКУЛ ВОДЫ В ОРТОФОСФАТАХ СОСТАВА $MePO_4 \cdot 2H_2O$	34
31	<b>К.С. Суханова, Л.Г. Аниканова.</b> КИНЕТИКА РАСТВОРЕНИЯ КАК СПОСОБ ДИАГНОСТИКИ ТОНКОЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ОКСИДА ЖЕЛЕЗА	35
32	<b>Ж.Г. Тихомирова, Н.В. Дворецкий.</b> МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗНОВАЛЕНТНЫХ ФОРМ ЦЕРИЯ	36
33	<b>О.И. Ларионова, О.Ю. Глухатаренко.</b> ПЕРЕРАБОТКА НИЗКОСОРТНЫХ ФОСФОРИТОВ В КОМПЛЕКСНЫЕ УДОБРЕНИЯ	37
34	<b>И.О. Новикова.</b> РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ МАСС ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЛИТОК ТИПА «ГРЕС» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАОЛИНОВ РБ	38
35	<b>Т.Л. Лютко, Л.Ф. Папко.</b> РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ СТЕКОЛ ДЛЯ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННОГО ВОЛОКНА	39
36	<b>А.И. Марухин, А.Ю. Синяк, А.С. Шишковец.</b> ИОНООБМЕННОЕ УПРОЧНЕНИЕ ЛИСТОВЫХ СТЕКОЛ ТВЕРДОФАЗНЫМИ РЕАГЕНТАМИ	40
37	<b>Т.Т. Стабровская.</b> РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ ГЛУШЕНЫХ СТЕКОЛ С ПОВЫШЕННОЙ ТЕРМОСТОЙКОСТЬЮ	41

38	<b>Ю.А. Елизар, М.В. Дяденко.</b> ОПТИЧЕСКИЕ СТЕКЛА ДЛЯ ОЧКОВЫХ ЛИНЗ	42
39	<b>О.И. Луня.</b> РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ СТЕКОЛ ДЛЯ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ДЕТЕКТОРОВ	43
40	<b>О.Ю. Федорова.</b> ПОЛУЧЕНИЕ МАЛОФОСФАТНЫХ СМС	44
41	<b>В.В. Шут, И.М. Терещенко.</b> НОВЫЕ СОСТАВЫ ЛИСТОВЫХ СТЕКОЛ	45
42	<b>А.Н. Богомолова, И.М. Терещенко.</b> ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ГРАНУЛИРОВАННОГО МЕЛА	46
43	<b>С.С. Сергеев, М.Е. Чалова, Н.С. Кичева.</b> ОЦЕНКА МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БРОМ-ИОНОВ В ПРИСУТСТВИИ ХЛОР-ИОНОВ	47
44	<b>М.А. Тютин, Е.В. Максимова, Т.В. Кудаярова.</b> ТЕМПЛАТНЫЙ СИНТЕЗ МЕДНОГО И НИКЕЛЕВОГО КОМПЛЕКСОВ МАКРОГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКОГО СОЕДИНЕНИЯ С 3N-АЛКИЛ-5-АМИНО-2-ИМИНО-1,3,4-ТИАДИАЗОЛИНОВЫМ ФРАГМЕНТОМ	48
45	<b>Г.Ю. Копушкина, Н.В. Верещагина, А.И. Новикова.</b> ОСОБЕННОСТИ РЕАКЦИИ ГИДРИРОВАНИЯ ДИЦИКЛОПЕНТАДИЕНА	49
46	<b>С.А. Антоничев, В.А. Норина, С.И. Филимонов.</b> СИНТЕЗ НОВЫХ 2,3-ДИЗАМЕЩЕННЫХ БЕНЗОФУРАНОВ	50
47	<b>М.В. Тихонов, И.В. Москаленко, В.А. Мачтин.</b> ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ МИЦЕЛЛООБРАЗОВАТЕЛЯ НА ИНГИБИРУЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ 2,2,5,5-ТЕТРАМЕТИЛПИРРОЛИН-3-КАРБОКСИ-1-ОКСИЛА	51
48	<b>С.С. Сергеев, М.В. Кабанова, Ж.В. Чиркова.</b> СИНТЕЗ 3-ХЛОРЗАМЕЩЕННЫХ ИНДОЛ-5,6-ДИКАРБОНИТРИЛОВ	52
49	<b>Е.В. Самцова, В.В. Маликов, Е.Н. Ларионова, А.С. Фролов.</b> СИНТЕЗ И ОКИСЛИТЕЛЬНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ИЗОПРОПИЛКСИЛОЛОВ	53
50	<b>Н.И. Букина, М.Е. Чалова, А.С. Фролов.</b> СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ КСИЛЕНОЛОВ	54
51	<b>Е.Н. Тишкина, Е.И. Филимонова, В.В. Соловьев.</b> ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ НА ОСНОВЕ ПЕРЕРАБОТКИ БИОМАССЫ	55
52	<b>Ю.А. Бернадская.</b> СИНТЕЗ АЦЕТИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ТЕРФЕНИЛА – ПОЛУПРОДУКТОВ В ОРГАНИЧЕСКОМ СИНТЕЗЕ	56
53	<b>М.А. Смирнова, Л.М. Соболева, В.В. Соловьев.</b> РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ	57
54	<b>Л.И. Бородин.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОПОРЦИОНИРОВАНИЯ ЦИКЛИЧЕСКИХ ОКСОАММОНИЕВЫХ КАТИОНОВ И ГИДРОКСИЛАМИНОВ	58
55	<b>А.А. Дарьина, С.Н. Леднев.</b> ПОЛЯРНЫЕ ЭФФЕКТЫ В РЕАКЦИЯХ ЖИДКОФАЗНОГО ОКИСЛЕНИЯ МЕТАКРИЛОВЫХ ЭФИРОВ	59
56	<b>Т.С. Кузнецова.</b> ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ИНИЦИИРОВАНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ СТАБИЛЬНЫХ НИТРОКСИЛЬНЫХ РАДИКАЛОВ ПРИ ОКИСЛЕНИИ МЕТИЛЛИНОЛЕАТА В МИЦЕЛЛАХ	60
57	<b>С.Ю. Петрова.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНИЦИИРОВАНИЯ 2,2'-АЗОБИС (2-МЕТИЛПРОПИОНАМИД) ДИГИДРОХЛОРИДА В ПРОЦЕССЕ ОКИСЛЕНИЯ МЕТИЛЛИНОЛЕАТА В МИЦЕЛЛАХ	61
58	<b>А.А. Соколов, С.А. Калина, Р.С. Бегунов.</b> ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ЗАМЕЩЕННЫХ ПИРИДО[1,2-А]БЕНЗИМИДАЗОЛОВ	62
59	<b>Е.И. Червогородская, А.Н. Валяева, Р.С. Бегунов.</b> СИНТЕЗ НОВЫХ ФТОРСОДЕРЖАЩИХ АРОМАТИЧЕСКИХ ПОЛИИМИДОВ	63

60	<b>Т.В. Шебунина, В.А. Васькина, Р.С. Бегунов.</b> НОВЫЙ СПОСОБ СИНТЕЗА N-ФЕНИЛЗАМЕЩЕННЫХ-5-R-БЕНЗИМИДАЗОЛОВ – ПЕРСПЕКТИВНЫХ АНТИМИКРОБНЫХ ПРЕПАРАТОВ	64
61	<b>Д.С. Монастырёва, С.С. Рожков.</b> СИНТЕЗ 4-МЕТИЛ-N'-(2-(2-ОКСО-1,2,3,4-ТЕТРАГИДРОХИНОКСАЛИН-3-ИЛ)АЦЕТИЛ)БЕНЗГИДРАЗИДА	65
62	<b>П.В. Дыленок, Т.А. Бобова, А.В. Колобов.</b> АЛКИЛИРОВАНИЕ 6-ЗАМЕЩЕННЫХ ПИРИДАЗИН-3(2Н)-ОНОВ ДИЭФИРАМИ МАЛЕИНОВОЙ И ИТАКОНОВОЙ КИСЛОТ	66
63	<b>Н.Ю. Зудина, А.А. Баканова.</b> СИНТЕЗ (1R*, 2S*, 4S*)-4-МЕТИЛ-2-[5-МЕТИЛ-5-(4-НИТРОФЕНИЛ)-1,3-ДИОКСООКТАГИДРОИЗОИНДОЛ-2-ИЛ]-БУТАНОВОЙ КИСЛОТЫ	67
64	<b>А.А. Фирстова, Е.Р. Кофанов.</b> СИНТЕЗ МОНОМЕРОВ ДЛЯ ПОЛИИМИДОВ, СОДЕРЖАЩИХ ИМИДНЫЙ ЦИКЛ	68
65	<b>М.В. Карунная, В.В. Соснина, К.С. Фирсова.</b> СИНТЕЗ 5-АЛКЕНИЛ-1,2,4-ОКСАДИАЗОЛОВ	69
66	<b>А.А. Трещева, Г.С. Тюнькин, М.С. Сорокина.</b> МОДИФИКАЦИЯ $\alpha$ -ГИДРОКСИ- $\beta$ -ДИАЛКИЛАМИНОАЛКИЛ- И $\alpha$ -ГИДРОКСИ- $\beta$ -ДИАЛКИЛАМИНОЦИКЛОАЛКИЛБЕНЗОЙНЫХ КИСЛОТ В СИНТЕЗЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ	70
67	<b>П.А. Агатьев.</b> НОВЫЙ МЕТОД СИНТЕЗА 3,5-ДИФЕНИЛ-1,2,4-ОКСАДИАЗОЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ СУЛЬФОНАМИДНЫЙ ФРАГМЕНТ	71
68	<b>Р.М. Шленев, Н.А. Ножнин, А.В. Тарасов.</b> СИНТЕЗ НОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ [a]-АННЕЛИРОВАННЫХ ПИРИДОХИНАЗОЛИНОНОВ	72
69	<b>И.М. Слободянюк, П.А. Агатьев, А.В. Тарасов.</b> НОВЫЙ МЕТОД СИНТЕЗА АРОМАТИЧЕСКИХ НИТРИЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ СУЛЬФОНИЛХЛОРИДНУЮ ГРУППУ	73
70	<b>А.Е. Будилов, П.В. Воронцов, В.В. Худяков.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ РАСЧЕТОВ ПРОЦЕССОВ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ	74
71	<b>К.А. Москвина.</b> ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ РЕГЕНЕРАЦИОННОЙ КОЛОННЫ УСТАНОВКИ ДЕФЕНОЛЯЦИИ С ЦЕЛЬЮ УВЕЛИЧЕНИЯ СТЕПЕНИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЭКСТРАГЕНТА ИЗ ОБЕСФЕНОЛЕННОЙ ВОДЫ	75
72	<b>Е.Ю. Серова, И.А. Сосин, Г.В. Рыбина.</b> НЕКОТОРЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЫДЕЛЕНИЯ 1,2-ЭПОКСИЦИКЛОПЕНТАНА ИЗ ПРОДУКТОВ ОКИСЛЕНИЯ ЦИКЛОПЕНТЕНА ПЕРОКСИДОМ ВОДОРОДА	76
73	<b>И.И. Ганич.</b> СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ДИЭТАНОЛАМИДОВ ЖИРНЫХ КИСЛОТ КОКОСОВОГО И РАПСОВОГО МАСЕЛ	77
74	<b>И.А. Сидерко.</b> ИЗУЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ К ОКИСЛЕНИЮ ПРИ ТЕРМООБРАБОТКЕ	78
75	<b>А.С. Юркевичюте, Л.С. Григорьева.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОЧИСТКИ СЛАНЦЕВОЙ СМОЛЫ КУКЕРСИТА ОТ СЕРУСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТОДОМ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ ГИДРООЧИСТКИ	79
76	<b>Л.Д. Фирсова, П.В. Ивинская.</b> СОЛЮБИЛИЗАЦИЯ МАСЛА ЧАЙНОГО ДЕРЕВА В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ ПРЕПАРАТА GENAPOL LRO	80
77	<b>Н.В. Овсянникова, В.В. Соловьев.</b> ИЗУЧЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ДЕКАРБОКСИЛИРОВАНИЯ И ДЕКАРБОНИЛИРОВАНИЯ ЖИРНЫХ КИСЛОТ ТАЛЛОВОГО МАСЛА С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ	81

78	<b>А.А. Хасанов, А.В. Красильников, А.А. Баранова, В.А. Ефимов.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕОБРАТИМОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЦИКЛООЛЕФИНОВ, ПРОТЕКАЮЩЕЙ НА ДВУХ ТИПАХ АКТИВНЫХ ЦЕНТРОВ	82
79	<b>Н.С. Комиссарова, А.О. Калачев, В.А. Ефимов.</b> К ВОПРОСУ О СТЕРЕОСЕЛЕКТИВНОСТИ МЕТАТЕЗИСНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЦИКЛООКТЕНА	84
80	<b>Н.С. Комиссарова, А.О. Калачев, В.А. Ефимов.</b> К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ СТЕРЕОРЕГУЛИРОВАНИЯ ПРИ МЕТАТЕЗИСНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЦИКЛООЛЕФИНОВ	85
81	<b>С.С. Комиссарова, С.А. Логинов В.А. Ефимов.</b> АНАЛИЗ МОДЕЛИ МЕТАТЕЗИСНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ, ПРОТЕКАЮЩЕЙ НА ОДНОМ ТИПЕ АКТИВНЫХ ЦЕНТРОВ	86
82	<b>Ю.А. Родионов, К.С. Купоросов, Е.Н. Прокофьева, В.А. Ефимов.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ «ЖИВУЩЕЙ» ОБРАТИМОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЦИКЛОПЕНТЕНА, ПРОТЕКАЮЩЕЙ НА ОДНОМ ТИПЕ АКТИВНОГО ЦЕНТРА	87
83	<b>К.А. Мягкова, Е.А. Полякова, А.И. Бурова.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НОВОГО БИОКОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА	88
84	<b>В.В. Фролов, А.И. Микулина, И.С. Шпагина, Е.А. Полякова.</b> ПОЛУЧЕНИЕ ЛАТЕКСНО-ТКАНЕВОГО КЛЕЯ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ	89
85	<b>А.И. Журина, А.Г. Родионова, Е.Е. Заозерова, Н.С. Минеева.</b> ИЗОМЕРИЗАЦИЯ ЭПОКСИ- И АМИНОСОДЕРЖАЩИХ ОЛИГОБУТАДИЕНОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ СИСТЕМ	90
86	<b>А.Ю. Воронин, Е.Е. Заозерова, А.В. Филатов, Н.С. Минеева.</b> МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОЛИГОБУТАДИЕНОВ	91
87	<b>И.А. Баженов, Н.С. Минеева, С.В. Красников, Т.Е. Абрамова.</b> НОВЫЕ БИОГИБРИДНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОЛИГОБУТАДИЕНОВ И БЕЛКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ	92
88	<b>В.Д. Туманова, Е.А. Попова, Ю.М. Шевалдина.</b> МЕТОДЫ ОКРАШИВАНИЯ ПРЕПАРАТОВ В СВЕТОВОЙ МИКРОСКОПИИ	93
89	<b>Т.Е. Абрамова, И.А. Баженов, Н.С. Минеева, М.Е. Соловьев.</b> ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОЛИГОБУТАДИЕНЫ И ЛОКАЛЬНАЯ ДИНАМИКА СЕТЧАТЫХ СТРУКТУР НА ИХ ОСНОВЕ С ФОСФОРБОРСОДЕРЖАЩИМИ И БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫМИ КИСЛОТАМИ	94
90	<b>Т.А. Ерохина, Е.А. Индейкин.</b> РЕАКЦИИ ИЗОЦИАНАТОВ	95
91	<b>Н.П. Власова, Е.А. Индейкин.</b> ВЛИЯНИЕ КАТАЛИЗАТОРОВ НА ОТВЕРЖДЕНИЕ ПОЛИЭФИР-БЕНЗОГУАНАМИНОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ	96
92	<b>В.А. Болдинова.</b> ПОЛУЧЕНИЕ АЛКИДНЫХ ЭМУЛЬСИЙ	97
93	<b>А.Ю. Воробьева, Ю.М. Горовой, А.А. Ильин.</b> МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЧАСТИЦ ДИОКСИДА ТИТАНА И МИКРОКАЛЬЦИТА В СТРУЙНОМ РЕАКТОРЕ	98
94	<b>Н.А. Захарова, Е.А. Индейкин.</b> ПОЛИКАРБОКСИЛАТНЫЕ ДОБАВКИ ДЛЯ БЕТОНА	99
95	<b>Д.С. Котова, Е.А. Индейкин.</b> ВЛИЯНИЕ МАТИРОВАНИЯ ЭПОКСИДНО-ПОЛИЭФИРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИХ РАСПЛАВОВ	100
96	<b>Н.В. Кочкина, В.Г. Курбатов.</b> СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИАНИЛИНА И ВОДНЫХ АКРИЛОВЫХ ДИСПЕРСИЙ	101
97	<b>Н.В. Кочкина, Н.А. Захарова, В.Г. Курбатов.</b> СТАБИЛИЗАЦИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ДИСПЕРСИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИАНИЛИНА ПОЛИКАРБОКСИЛАТНЫМИ ПАВ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ СВОЙСТВ	102

98	<b>А.Ю. Летуновская, В.Г. Курбатов.</b> ПОЛУЧЕНИЕ ПРИВИТЫХ СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИАНИЛИНА	103
99	<b>М.А. Ратникова, Е.А. Индейкин.</b> ВЛИЯНИЕ РАСТВОРИТЕЛЕЙ НА ИЗМЕНЕНИЕ ЦВЕТА ФТАЛОЦИАНИНОВЫХ ПИГМЕНТОВ	104
100	<b>В.П. Анкудович, И.В. Пищ.</b> СИНТЕЗ ФОСФОРСОДЕРЖАЩИХ ПИГМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОКСИЛАПАТИТА	105
101	<b>В.В. Милославская, Е.Б. Потёмина, Е.А. Индейкин.</b> РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИЙ ОЛИГОИЗОЦИАНАТОВ	106
102	<b>А.А. Надудик, И.А. Левицкий.</b> НЕФРИТТОВАННЫЕ ГЛАЗУРИ ДЛЯ ФАРФОРОВЫХ ИЗОЛЯТОРОВ	107
103	<b>А.И. Олехнович, И.А. Левицкий.</b> ПОЛУФРИТТОВАННЫЕ ЦВЕТНЫЕ ГЛАЗУРИ НА ОСНОВЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ШЛАМОВ	108
104	<b>А.Н. Шиманская.</b> ПОЛУФРИТТОВАННЫЕ ГЛАЗУРИ ДЛЯ ДЕКОРИРОВАНИЯ ПЛИТОК ДЛЯ ПОЛОВ	109
105	<b>А.А. Курильчик.</b> РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ СТЕКОЛ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СВЕТОПРЕОБРАЗУЮЩИХ ПОКРЫТИЙ НА ПОДЛОЖКАХ ИЗ ЛИСТОВОГО СТЕКЛА ДЛЯ СВЕТОДИОДНЫХ ОСВЕТИТЕЛЕЙ	110
106	<b>О.В. Опимах, И.И. Курило, И.М. Жарский.</b> СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ПИГМЕНТОВ НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЙ ЖЕЛЕЗА И ВИСМУТА	111
107	<b>Н.С. Трофимов, К.М. Голиков, О.Н. Кораблева.</b> НАНЕСЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПОВЕРХНОСТЬ МЕТОДОМ КАТОФОРЕЗА	112
108	<b>Ю.В. Подвальная, О.Н. Кораблева.</b> ЭЛЕКТРОФОРЕЗ И ЭЛЕКТРООСМОС В ПРОМЫШЛЕННОСТИ	113
109	<b>Н.А. Лежнина.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ФРАГМЕНТОВ УЗЛОВ И ЦЕПЕЙ СШИТЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ	114
110	<b>А.Г. Капустина, М.А. Кокорева, Г.И. Кострыкина.</b> ВУЛКАНИЗАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И СТРУКТУРА СЕТКИ НЕНАПОЛНЕННЫХ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ НАТУРАЛЬНОГО И ЦИС-БУТАДИЕНОВОГО КАУЧУКОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ БЛОКИРОВАННЫМ МЕРКАПТОСИЛАНОМ	115
111	<b>Д.А. Абашев, А.Г. Капустина, Г.И. Кострыкина.</b> ОКИСЛЕНИЕ НАТУРАЛЬНОГО И ЦИС-БУТАДИЕНОВОГО КАУЧУКОВ, РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ И РЕЗИН, МОДИФИЦИРОВАННЫХ СИЛАНАМИ	116
112	<b>Д.В. Овсянникова, Н.М. Крупкин, О.Ю. Соловьева.</b> ВЛИЯНИЕ ТЕРМООКИСЛЕНИЯ КАУЧУКА СКИ-3 НА РЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕГО СМЕСЕЙ С КРЕМНЕКИСЛОТНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ	117
113	<b>Д.В. Овсянникова, М.А. Ершова, П.А. Агатъев.</b> СРАВНЕНИЕ МОДИФИЦИРУЮЩЕЙ АКТИВНОСТИ ХЛОПРОИЗВОДНЫХ ДИКАРБОНОВЫХ КИСЛОТ В РЕЗИНОВЫХ СМЕСЯХ НА ОСНОВЕ БНК, СОДЕРЖАЩИХ КРЕМНЕКИСЛОТНЫЙ НАПОЛНИТЕЛЬ	118
114	<b>О.С. Кузьменко, М.Г. Кульков, Е.В. Дахновская.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПРОДУКТОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ ПОЛИОЛЕФИНОВ	119
115	<b>И.А. Каримов, М.Ф. Галиханов.</b> ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРЕТНЫХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИЙ ПОЛИПРОПИЛЕНА С НАПОЛНИТЕЛЯМИ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ	120
116	<b>А.В. Прудников, О. М. Касперович.</b> МОДИФИКАЦИЯ ВТОРИЧНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ СМЕСЕВЫХ КОМПОЗИЦИЙ	121
117	<b>М.А. Костюченко, М.М. Ревяко.</b> РАЗРАБОТКА АРМИРОВАННОЙ СТЕКЛОВОЛОКНОМ ПОЛИАМИДНОЙ КОМПОЗИЦИИ С ПОНИЖЕННОЙ ГОРЮЧЕСТЬЮ	122

118	<b>Е.В. Ефимова, А.Г. Любимов, В.В. Яценко.</b> РАЗРАБОТКА ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ ПОНИЖЕННОЙ ГОРЮЧЕСТИ, СОДЕРЖАЩИХ АНТИПИРЕНУ	123
119	<b>С.П. Кудельникова.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ЗАЩИТЫ КОЛЕСОСБЕРЕГАЮЩИХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТОРМОЗНЫХ КОЛОДОК	124
120	<b>А. Иманкулова, Н.М. Курбаналиев, Р.М. Шляпов, Ш.К. Амерханова.</b> ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИМЕРНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ	125
121	<b>Х.А. Павлова.</b> ПОДГОТОВКА АТОМНО-МОЛЕКУЛЯРНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ OPEN SOURCE	126
122	<b>Д.И. Лубкова, Г.Н. Кулевцов, И.Ш. Абдуллин.</b> КОМБИНИРОВАННЫЙ СПОСОБ РЕГУЛИРОВАНИЯ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МЕХОВОГО СЫРЬЯ	127
123	<b>Г.Л. Верхола.</b> ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОШПАРИВАТЕЛЕЙ	128
124	<b>И.В. Притужалов, Д.С. Терехин, В.К. Леонтьев.</b> РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОГО ПЕРЕМЕШИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ	129
125	<b>Ю.К. Литвак, Р.В. Паламарчук.</b> АППАРАТУРНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТЕРМОПЛАСТОВ С МИКРОЯЧЕИСТОЙ ВСПЕНЕННОЙ СТРУКТУРОЙ	130
126	<b>А.С. Михайлов.</b> РАЗРАБОТКА МАЛОЭМИССИОННОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ СЖИГАНИЯ ТОРФЯНОЙ ПЫЛИ	131
127	<b>О.А. Пихль, М.А. Каэв, Л.С. Григорьева.</b> ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА И СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СПОСОБОВ ПЕРЕРАБОТКИ РЕЗИНОВОЙ КРОШКИ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ МОТОРНОГО ТОПЛИВА	132
128	<b>М.А. Юровская, А.В. Сугак, Д.Е. Смирнов.</b> ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА УЛАВЛИВАЕМОЙ ПЫЛИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯ-КЛАССИФИКАТОРА	133
129	<b>П.В. Куделин, О.Н. Кораблева, Л.М. Соболева.</b> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ФЛЕГМОВОГО ЧИСЛА РЕКТИФИКАЦИОННЫХ КОЛОНН	134
130	<b>А.Д. Волкова, О.Ф. Чобу, В.К. Леонтьев.</b> РАСЧЕТ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПНЕВМОТРАНСПОРТА	135
131	<b>Е.Е. Медведева, А.В. Ерохин, В.К. Леонтьев.</b> СТРУКТУРА ПОТОКОВ ЖИДКОЙ ФАЗЫ В ГАЗОЖИДКОСТНЫХ АППАРАТАХ	136
132	<b>Д.П. Прохоров, А.П. Левашев, В.К. Леонтьев.</b> РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ЭКСТРАКТОРА С ЭЖЕКЦИОННЫМ ДИСПЕРГИРОВАНИЕМ ЛЕГКОЙ ФАЗЫ	137
133	<b>Е.Ю. Рогозина, Т.Н. Бушуева, В.К. Леонтьев.</b> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ МЕШАЛОК ДЛЯ ВЯЗКИХ ЖИДКОСТЕЙ	138
134	<b>И.М. Слободянюк, В.К. Леонтьев.</b> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПНЕВМОМАГНИТНОГО ТРАНСПОРТА	139
135	<b>В.М. Бурцева, А.А. Грибкова, В.К. Леонтьев.</b> ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ ВОДЫ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ, РАСЧЕТ ВАКУУМ-КРИСТАЛЛИЗАТОРА	140
136	<b>Т.П. Минеева, А.В. Черепанова, В.В. Соловьев.</b> РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И РАСЧЕТ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЛИГНОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ	141

137	<b>О.А. Еременко, Е.В. Ткаченко, В.В. Соловьев.</b> ПРЕДЛОЖЕНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МЕТОДАМ И ПРИЕМАМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ОПОРОЖНЕНИЯ ВАГОНОВ-ЦИСТЕРН ПОСЛЕ СЛИВА ВЯЗКИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ	142
138	<b>К.С. Бушуева, Е.И. Филимонова, В.В. Соловьев.</b> АНАЛИЗ РАБОТЫ УСТАНОВОК РАЗОГРЕВА И СЛИВА НЕФТЕПРОДУКТОВ	143
139	<b>А.В. Марченко, Л.М. Соболева, В.В. Соловьев.</b> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РАЗОГРЕВА УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ И МАЗУТА В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЦИСТЕРНАХ ПРИ СЛИВЕ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	144
140	<b>М.Ф. Корбан, Ю.Н. Воронцова, В.В. Соловьев.</b> ПЕРСПЕКТИВЫ И ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОКОМПОНЕНТОВ ДЛЯ НЕФТЯНЫХ ТОПЛИВ ИЗ АЛЬТЕРНАТИВНОГО КИСЛОРОДСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ	145
141	<b>Ю.О. Полозуко, Е.С. Процышина, В.В. Соловьев.</b> ПОЛУЧЕНИЕ ЭНЕРГИИ ИЗ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ	146
142	<b>Д.А. Литвинов, С.Г. Михалёнок, В.С. Безбородов.</b> НОВЫЙ ПОДХОД К ПОЛУЧЕНИЮ ЗАМЕЩЕННЫХ БЕНЗОФУРАНОВ	147

#### **СЕКЦИЯ «ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ»**

143	<b>Е.А. Гузов.</b> ОЦЕНКА СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА, ЭКРАНИРУЮЩЕГО ДЕЙСТВИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ	148
144	<b>Н.А. Соколова, В.М. Макаров.</b> ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОЙ МИГРАЦИИ КОМПОНЕНТОВ ГАЛЬВАНОШЛАМА И ЕГО МОДИФИКАЦИИ ИЗ СОДЕРЖАЩИХ ИХ РЕЗИН	149
145	<b>А.К. Василенко.</b> ПРИРОДООХРАННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ РОССИИ (НА ПРИМЕРЕ МАГНИТОГОРСКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА, г. МАГНИТОГОРСК, ЧЕЛЯБИНСКАЯ ОБЛАСТЬ)	150
146	<b>Н.А. Соколова, С.З. Калаева, В.М. Макаров.</b> НАПРАВЛЕННЫЕ ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ СОЕДИНЕНИЙ ЖЕЛЕЗА, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ ПРИ ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯЦИОННОЙ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД И ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ	151
147	<b>М.Н. Питерская.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ СОСТОЯНИЯ РАБОТНИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА В ТЕЧЕНИЕ РАБОЧЕГО ДНЯ	152
148	<b>Ю.Н. Чайка, М.И. Кислая.</b> КОРРОЗИОННАЯ АКТИВНОСТЬ ХЛОРСОДЕРЖАЩИХ ДЕЗИНФИЦИРУЮЩИХ РАСТВОРОВ К УГЛЕРОДИСТЫМ СТАЛЯМ	153
149	<b>А.Р. Дорошенко.</b> БОЛЕЗНИ РАСТЕНИЙ - ГЛОБАЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА	154
150	<b>А.А. Цюхай, О.Ю. Федорова.</b> ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ГАЛЬВАНОШЛАМОВ НА МАЛЯРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОДУКТОВ ИХ ТЕРМООБРАБОТКИ	155
151	<b>А.С. Минич, Е.М. Ромашко, А.А. Черник.</b> ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ МЕДИ ИЗ МОДЕЛЬНОГО РАСТВОРА ПРОМЫВНЫХ ВОД ВАНН УЛАВЛИВАНИЯ	156
152	<b>Д.С. Харитонов, Е.В. Крышилович, И.И. Курило.</b> СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СПОСОБОВ ПЕРЕРАБОТКИ ВАНАДИЙСОДЕРЖАЩЕГО ШЛАМА	157
153	<b>А.А. Ярошук, Е.В. Крышилович, И.И. Курило.</b> ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВАНАДИЙСОДЕРЖАЩЕГО ШЛАМА, ПОЛУЧЕННОГО ПРИ СЖИГАНИИ УГЛЕВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА	158

154	<b>Н.А. Соколова, В.М. Макаров.</b> ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЛЬВАНОШЛАМА НА ОСНОВАНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА	159
155	<b>Н.Е. Головина, О.П. Филиппова.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕДИ ИЗ ОТРАБОТАННЫХ ТРАВИЛЬНЫХ РАСТВОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАГНИЕВОЙ СТРУЖКИ	160
156	<b>К.С. Кузнецов, О.П. Филиппова.</b> ПОЛУЧЕНИЕ АНТИКОРРОЗИОННОГО ПИГМЕНТА МЕТОДОМ ФЕРРИТИЗАЦИИ ИЗ СУСПЕНЗИЙ ГАЛЬВАНОШЛАМОВ	161
157	<b>М.А. Малеина, Г.А. Ефимова, Н.А. Соколова.</b> ПОЛУЧЕНИЕ ПИГМЕНТА, СОДЕРЖАЩЕГО ФОСФАТ ЖЕЛЕЗА	162
158	<b>К.М. Муратова, А.А. Махнин.</b> РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ ДЛЯ СУХОЙ ОЧИСТКИ ЗАГРЯЗНЕННОГО ВОЗДУХА	163
159	<b>А.Н. Соловьёва, Т.С. Кисленкова, М.С. Мальцева, С.З. Калаева.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАГНИТНЫХ СОРБЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОЧВ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ	164
160	<b>А.Н. Соловьёва, А.В. Режова, И.А. Невзоров, С.З. Калаева.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ	165
161	<b>А.А. Чеснокова, Э.А. Денисова, М.Е. Терзи, С.З. Калаева.</b> ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУЧЕНИЯ МАГНИТНЫХ ЖИДКОСТЕЙ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ДЕФЕКТОСКОПИИ	166
162	<b>А.С. Черная, А.Ю. Визгин, Н.Л. Гурылёва, С.Д. Тимрот.</b> РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУР АНТИСЕПТИЧЕСКИХ БИТУМНЫХ ПАСТ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ДРЕВЕСИНЫ ОТ ГНИЕНИЯ	167
163	<b>К.А. Никанорова, Н.Л. Гурылёва, С.Д. Тимрот.</b> ИЗУЧЕНИЕ ЗАГРЯЗНЁНОСТИ НЕФТЕПРОДУКТАМИ РАЗЛИЧНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ	168
164	<b>А.С. Черная, А.Ю. Визгин, Н.Л. Гурылёва, С.Д. Тимрот.</b> ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЕРДОГО ОТХОДА УСТАНОВКИ ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЯ ЛОВУШЕЧНОЙ НЕФТИ ПРЕДПРИЯТИЯ ОАО «СЛАВНЕФТЬ-ЯНОС»	169
165	<b>И.М. Янин, С.Д. Тимрот, Н.Л. Гурылёва.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КИСЛЫХ ГУДРОНОВ СТАРЫХ ПРУДОВ-НАКОПИТЕЛЕЙ НПЗ им. Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА	170
166	<b>Ю.С. Крылова, Н.С. Яманина.</b> ПОЛУЧЕНИЕ МАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА	171
167	<b>М.С. Сорокина, Н.С. Яманина.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОИНДИКАЦИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	172
168	<b>А.О. Округина, Е.Л. Никитина.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ГУМИНОВОЙ КИСЛОТЫ	173
169	<b>А.Ю. Сачкова, Е.Г. Рачков.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СВЕРТЫВАЕМОСТЬ ТРОМБОЦИТОВ	174
170	<b>Ю.Н. Дорошенко, А.В. Шевелёв.</b> ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ ФЕНОЛА В АППАРАТЕ С МАГНИТО-КИПЯЩИМ СЛОЕМ	175

#### **СЕКЦИЯ «МАШИНОСТРОЕНИЯ»**

171	<b>С.А. Акимов, К.А. Украженко.</b> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ИНСТРУМЕНТА ПО ОБРАБОТКЕ ВНУТРЕННИХ КОМБИНИРОВАННЫХ КОНИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ	176
172	<b>Е.В. Александрова, О.Н. Калачев.</b> ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ В СРЕДЕ AUTODESK INVENTOR 2014	177



173	<b>В.М. Бабоченко, О.Н. Калачев.</b> СОЗДАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОСЛЕПРОДАЖНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОДУКТА CORTONA3D	178
174	<b>Е.Н. Богаткова, О.Н. Калачев.</b> ОРГАНИЗАЦИЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОДУКТОВ SIEMENS PLM SOFTWARE ПРИ КОМПЬЮТЕРНО-ИНТЕГРИРОВАННОЙ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА	179
175	<b>А.Ю. Егоров, К.А. Украженко.</b> РАЗРАБОТКА МОДУЛЬНОЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКОВ	180
176	<b>Д.С. Егоров, А.В. Оборин.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ	181
177	<b>М.С. Елкин, В.Ф. Безъязычный.</b> РАЦИОНАЛЬНОЕ НАЗНАЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ КОНЦЕВЫМИ ФРЕЗАМИ С НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫМ ПОКРЫТИЕМ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЕ ЗАДАННЫЕ ПАРАМЕТРЫ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ	182
178	<b>Я.С. Астафьева, И.Н. Ергин, А.А. Малов.</b> ЗАКРЕПЛЕНИЕ ИЗДЕЛИЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКЕ. СОСТАВ ЗАЖИМНЫХ УСТРОЙСТВ	183
179	<b>Н.Е. Ефимова, В.В. Михрютин.</b> РАЗРАБОТКА РЕВОЛЬВЕРНОЙ ГОЛОВКИ С ПРИВОДОМ ВРАЩЕНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА	184
180	<b>Н.Е. Ефимова, В.В. Михрютин.</b> ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ РЕВОЛЬВЕРНЫХ ГОЛОВОК ТОКАРНЫХ ОБРАБАТЫВАЮЩИХ ЦЕНТРОВ	185
181	<b>Д.Е. Жуков, А.С. Букатый.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОДЕФЕКТОВ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ГАЛТЕЛЕЙ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА ЯМЗ-240	186
182	<b>Д.А. Калачева, О.Н. Калачев.</b> СПОСОБЫ РЕШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ В ПРОГРАММЕ KON7 С УЧЕТОМ КОЛЕБАНИЯ ПРИПУСКА И НЕСОВПАДЕНИЯ БАЗ	187
183	<b>С.С. Калугин, В.Ф. Безъязычный.</b> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОСЛЕПРОДАЖНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВИАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ ПОЛОЖЕНИЙ ЛОГИСТИКИ	188
184	<b>А.А. Камко, А.А. Кулебякин.</b> СЧПУ В СИСТЕМЕ ГРАФИЧЕСКОЙ ИМИТАЦИИ CNC SWANSOFT	189
185	<b>А.А. Кизилев, К.А. Украженко.</b> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ФИНИШНЫХ ОПЕРАЦИЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ НА МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКАХ	190
186	<b>М.С. Корнилов, А.С. Букатый.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И ПОВЫШЕНИЕ КОНТАКТНОЙ ВЫНОСЛИВОСТИ ШЕСТЕРЕН КОРОБКИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ПЕРЕДАЧ	191
187	<b>А.А. Коротков, А.С. Букатый.</b> ПОВЫШЕНИЕ ВЫНОСЛИВОСТИ ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА С УЧЕТОМ ДЕФЕКТОВ ОТ ПОПАДАНИЯ ИНОРОДНЫХ ТЕЛ В ПРОТОЧНУЮ ЧАСТЬ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ	192
188	<b>В.Э. Костичев, А.С. Букатый.</b> ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ УПРОЧНЕНИЯ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА НА ОСНОВЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЕГО НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ	193
189	<b>О.А. Малышев, А.С. Букатый.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗРЫВНОЙ ВОЛНЫ В ДЕТАЛИ «КОРПУС БЛОКА РАСКЛАДКИ СТАБИЛИЗАТОРА»	194
190	<b>М.А. Масальская, А.А. Малов.</b> ПРИВОДЫ ЗАЖИМНЫХ УСТРОЙСТВ	195

191	<b>И.О. Москвин, В.В. Михрютин.</b> ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ПРИВОДОВ ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ОБРАБАТЫВАЮЩИХ ЦЕНТРОВ	196
192	<b>И.О. Москвин, В.В. Михрютин.</b> СОЗДАНИЕ ПРИВОДА ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ СТАНКА ДЛЯ СКОРОСТНЫХ И ТЯЖЕЛЫХ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ	197
193	<b>А.А. Пасхина, О.Н. Калачев.</b> РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПО СОЗДАНИЮ ЛИТЬЕВОЙ ОСНАСТКИ В СРЕО 2.0 ДЛЯ РАЗВИТИЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА НА КАФЕДРЕ КИ ТМС ЯГТУ	198
194	<b>А.М. Письменный, А.С. Букатый.</b> ПОВЫШЕНИЕ ВЫНОСЛИВОСТИ БОЛТОВ КРЕПЛЕНИЯ КРЫШКИ ШАТУНА ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ	199
195	<b>А.В. Порошин, А.А. Малов.</b> ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ И ОСОБЕННОСТИ ИХ КОНСТРУКЦИИ	200
196	<b>Е.И. Солодова, К.А. Украженко.</b> РАЗРАБОТКА ЗАЖИМНЫХ ТЕРМОПАТРОНОВ ДЛЯ РЕЖУЩЕГО ОСЕВОГО ИНСТРУМЕНТА	201
197	<b>А.Е. Трофимов, О.Н. Калачев.</b> ОСВОЕНИЕ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА В ХОДЕ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ НА КАФЕДРЕ «КИ ТМС»	202
198	<b>А.М. Убайдуллоев, А.С. Букатый.</b> ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ И ПОВЫШЕНИЕ ВЫНОСЛИВОСТИ ШАТУНА ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ	203
199	<b>Д.А. Якубовский, К.А. Украженко.</b> РАЗРАБОТКА ГИБКОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО МОДУЛЯ ПО ОБРАБОТКЕ КАРТЕРНЫХ ДЕТАЛЕЙ	204
200	<b>Н.А. Лесников, А.А. Малов.</b> ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ СВЕРЛИЛЬНЫХ СТАНКОВ И ОСОБЕННОСТИ ИХ КОНСТРУКЦИИ	205
201	<b>Р.А. Гутниченко, А.К. Денисюк.</b> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ – ЭТО ПУТЬ ПРОГРЕССА	206
202	<b>А.В. Найденов, А.В. Лебедев, В.А. Алов.</b> ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ НАПЛАВКОЙ	207
203	<b>А.А. Печников, Т.А. Теленкова, Л.С. Кипнис.</b> ЦЕНТРОБЕЖНО-ЛИТЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ИЗДЕЛИЯ НА АЛЮМИНИЕВОЙ ОСНОВЕ	208
204	<b>Б. Тойымбекова, И.Е. Медведева, Е.А. Сидорина.</b> КИСЛОТОУПОРНЫЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ	209
205	<b>В.В. Хапеева, В.А. Иванова.</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСТИРАЕМОСТИ ЛИТЕЙНОГО КОКСА	210
206	<b>В.В. Хапеева, Н.В. Косарева.</b> КОНСТРУКТИВНАЯ ПРОЧНОСТЬ	211
207	<b>В.В. Хапеева, Н.В. Косарева.</b> ОСОБЕННОСТИ ДЕМПФИРУЮЩИХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ ЖЕЛЕЗО – АЛЮМИНИЙ	212
208	<b>А.А. Бессуднов, С.В. Загуляева.</b> ОСОБЫЕ СВОЙСТВА ЛЁГКИХ МЕТАЛЛОВ	213
209	<b>Н.А. Савельев, Н.В. Косарева.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДЫ КАК ЗАКАЛОЧНОЙ СРЕДЫ	214
210	<b>Д.В. Смирнов, Н.В. Косарева.</b> МАКРОСКОПИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ИЗЛОМОВ	215
211	<b>А.А. Чеснокова, Е.М. Щекина, Н.В. Косарева.</b> ВЛИЯНИЕ ПРОКАЛИВАЕМОСТИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА	216
212	<b>Н.С. Выборнов, Н.Н. Захарова, А.А. Чеснокова.</b> ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ДЕФЕКТОСКОПОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ МАГНИТОПОРОШКОВОМ МЕТОДЕ ДЛЯ КОНТРОЛЯ	217
213	<b>В.Д. Белимов, В.Н. Сидоров.</b> ПОЛИСПАСТ И ЗОЛОТОЕ ПРАВИЛО МЕХАНИКИ	218

214	<b>А.Д. Голованов, В.Н. Сидоров.</b> О ПАДЕНИИ НЕЗАКРЕПЛЕННОЙ ЛЕСТНИЦЫ	219
215	<b>Д.С. Долгин, В.Н. Сидоров.</b> О РАСЧЁТЕ РОТОРА ЭЛЕКТРОМОТОРА	220
216	<b>А.Н. Дубовик, В.Н. Сидоров.</b> О ДВИЖЕНИИ ТЕЛ ПО КАНАЛАМ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ПОЧТЫ	221
217	<b>Е.И. Елисейкин, В.Н. Сидоров.</b> РАЗГОН БЕЗ ПРОБУКСОВКИ	222
218	<b>Ю.С. Канаев, В.Н. Сидоров.</b> О МОДИФИЦИРОВАННОЙ НЬУТОНОВСКОЙ ДИНАМИКЕ	223
219	<b>А.А. Клепцов, В.Н. Сидоров.</b> О КАЧЕЛЯХ НА ГИБКИХ СВЯЗЯХ	224
220	<b>М.А. Микрюков, В.Н. Сидоров.</b> О СКОЛЬЖЕНИИ КОЛЕСА	225
221	<b>К.В. Минеев, В.Н. Сидоров.</b> О ГАМИЛЬТОНОВОЙ МЕХАНИКЕ	226
222	<b>Р.Н. Оленин, В.Н. Сидоров.</b> АНТОЛОГИЯ МАЯТНИКОВ. ЧАСТЬ I	227
223	<b>В.И. Пахомов, В.Н. Сидоров.</b> АНТОЛОГИЯ МАЯТНИКОВ. ГЕНЕРАТОР ВОЛН МАЯТНИКОВ. ЧАСТЬ II	228
224	<b>М.А. Пинаев, В.Н. Сидоров.</b> КАК ПРЫГНУТЬ ДАЛЬШЕ	229
225	<b>Ю.А. Тополь, В.Н. Сидоров.</b> О КОЛЕБАНИИ ДВУХОПОРНОЙ БАЛКИ	230
226	<b>М.В. Хренов, В.Н. Сидоров.</b> "КОЛЫБЕЛЬ НЬУТОНА". ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА"	231
227	<b>С.И. Цанга, В.Н. Сидоров.</b> О МАШИНЕ АТВУДА	232
228	<b>М.В. Козлов, В.Н. Сидоров.</b> К РАСЧЕТУ БАРАБАННОГО ГРАНУЛЯТОРА	233
229	<b>Н.Ю. Ширина, В.Н. Сидоров.</b> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СОВМЕЩЕННОГО ПРОЦЕССА СМЕШЕНИЯ-ДЕЗАГРЕГИРОВАНИЯ В РОТОРНОМ АППАРАТЕ	234
230	<b>Е.А. Костюничев.</b> МЕХАНИЧЕСКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ СКОРОСТИ	235
231	<b>М.Н. Бакин, А.Б. Капранова, А.Е. Лебедев.</b> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СМЕШЕНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В НОВОМ АППАРАТЕ С ПОДВИЖНОЙ ЛЕНТОЙ	236
232	<b>М.Н. Бакин, А.Б. Капранова, А.И. Зайцев.</b> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ТВЁРДЫХ ЧАСТИЦ ПРИ СРЫВЕ С ГИБКИХ ЭЛЕМЕНТОВ СМЕСИТЕЛЯ	237
233	<b>А.А. Ватагин, А.И. Зайцев.</b> О ДВИЖЕНИИ ЧАСТИЦ ПО ПРОДОЛЬНО КОЛЕБЛЮЩЕЙСЯ ПОВЕРХНОСТИ ГРОХОТА	238
234	<b>И.И. Верлока, А.Б. Капранова, А.И. Зайцев.</b> ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ДЕАЭРАЦИИ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ	239
235	<b>М.В. Волков, М.Ю. Таршис.</b> МОДЕЛЬ СМЕШИВАНИЯ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА В УСТРОЙСТВЕ ГРАВИТАЦИОННО-ПЕРЕСЫПНОГО ДЕЙСТВИЯ	240
236	<b>М.С. Гречаников, А.Б. Капранова, А.Е. Лебедев.</b> ОСОБЕННОСТИ ДВИЖЕНИЯ НЕСФЕРИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ ПРИ ТЕЧЕНИИ НЕСУЩЕЙ СРЕДЫ ПО ТРУБАМ	241
237	<b>Т.А. Денисова, М.Ю. Таршис.</b> УПРУГОЕ СКОЛЬЖЕНИЕ И РАСЧЕТ СИЛ В РЕМЕННОЙ ПЕРЕДАЧЕ	242
238	<b>М.Г. Дратцев, М.Ю. Таршис.</b> ФОРМУЛА ЭЙЛЕРА И ЕЁ ПРИМЕНЕНИЕ ПРИ РАСЧЕТАХ НЕКОТОРЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ	243
239	<b>В.В. Жарехина, А.Б. Капранова, А.И. Зайцев.</b> ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ МЕЛКОЙ ВОДЫ	244
240	<b>Г.И. Зеленый, А.И. Зайцев, А.Е. Лебедев.</b> АНАЛИЗ ГРУППЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ. ВИДЫ МЕЛЮЩИХ ТЕЛ	245

241	<b>О.Н. Курзенева, А.Б. Капанова, А.Е. Лебедев.</b> УСЛОВИЯ ПРОТЕКАНИЯ КОНВЕКТИВНОЙ ДИФфуЗИИ В СОПРОВОЖДЕНИИ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ	246
242	<b>Д.Е. Муканин, А.И. Зайцев, А.Е. Лебедев.</b> О ДВИЖЕНИИ ЧАСТИЦ НА СИТЕ ГРОХОТА ПРИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЯХ ПОВЕРХНОСТИ	247
243	<b>М.О. Новиков, А.Е. Лебедев, А.И. Зайцев.</b> АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ВИХРЕВЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ	248
244	<b>А.А. Петров, А.И. Зайцев, А.Е. Лебедев.</b> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ	249
245	<b>Д.А. Румянцева, Л.А. Кучина, А.Б. Капанова.</b> МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ЦЕНТРА МАСС ДЛЯ АКТИВИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА РЕАКЦИИ	250
246	<b>В.С. Товт, А.Б. Капанова, А.И. Зайцев.</b> УСТОЙЧИВОСТЬ СИСТЕМЫ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ ДЛЯ ПОИСКА ПОЛОЖЕНИЯ ДВИЖУЩЕГОСЯ ОБЪЕКТА	251
247	<b>А.А. Васильев, М.М. Рябечков, Н.В. Бадаева.</b> РАСЧЕТ КРИВОГО БРУСА	252
248	<b>Д.С. Долгин, А.С. Нефедов.</b> НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ	253
249	<b>Ю.С. Канаев, Д.П. Пучек, А.С. Нефедов.</b> РАСЧЁТ БОРТА ФОРМЫ ДЛЯ ЗАЛИВКИ СМЕСИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ БЛОКОВ	254
250	<b>В.А. Киселева, Н.В. Бадаева.</b> ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННЫХ СРЕД НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ И ПОВЕДЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ	255
251	<b>С.А. Лосина, Н.В. Бадаева.</b> ОЦЕНКА МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРЫ	256
252	<b>М.А. Микрюков, А.С. Нефедов.</b> РАСЧЕТ ВЕРОЯТНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ПРИ ПЕРЕМЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЯХ	257
253	<b>К.В. Минеев, А.С. Нефедов.</b> РАСЧЁТ ВОДООТВОДНОГО ЛОТКА	258
254	<b>В.И. Пахомов, А.С. Нефедов.</b> ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ	259
255	<b>А.В. Седов, А.С. Нефедов.</b> ОПТИМИЗАЦИЯ СЕЧЕНИЙ НА ПРИМЕРАХ БРУСЬЕВ РАВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ	260
256	<b>А.О. Струтынский, Н.В. Бадаева.</b> СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ	261
257	<b>И.Л. Юлышев, С.А. Петерсон.</b> ПРОЧНОСТЬ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКИ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ НАПРЯЖЕНИЯХ	262
258	<b>Е.А. Варган, В.С. Францкевич.</b> ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ СРЕДНЕХОДНЫХ МЕЛЬНИЦ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ	263
259	<b>В.В. Вербицкий, И.Л. Тоболич, А.А. Гарабажиу.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИСМЕМБРАТОРНОЙ МЕЛЬНИЦЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ ФОСФОРИТОВ	264
260	<b>М.Г. Кадыков, Д.Н. Люлька.</b> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБА ПОДАЧИ БАРОМЕТРИЧЕСКОЙ ВОДЫ В ЭКСТРАКТОР НАКЛОННОГО ТИПА	265
261	<b>М.Э. Костичев, А.В. Сугак, Д.Е. Смирнов.</b> РАЗРАБОТКА НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ФИЛЬТРА	266
262	<b>А.В. Ляшук, А.Н. Люлька.</b> МОДЕРНИЗАЦИЯ УЛИТКИ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ СВЕКЛОРЕЗКИ С УСТАНОВКОЙ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ИНОРОДНЫХ ТЕЛ	267

263	<b>Д.В. Мерзляк, С.А. Удодов, Л.В. Марцинкевич.</b> МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ОБОГРЕВА ОБОРУДОВАНИЯ ВАРОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ	268
264	<b>С.В. Коновалов, А.Б. Пряников.</b> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БАРАБАННОГО АГРЕГАТА ДЛЯ СУШКИ МОКРЫХ ГРАНУЛ ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА	269
265	<b>А.А. Чепраков, А.А. Говязин.</b> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ РЕАКТОРНО-РЕГЕНЕРАТОРНОГО БЛОКА УСТАНОВКИ КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА	270
266	<b>М.В. Хохалев.</b> ОБЗОР ИЗМЕНЕНИЙ НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ, КАСАЮЩИХСЯ ОБЩИХ ТЕХНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА СОСУДЫ И АППАРАТЫ СТАЛЬНЫЕ СВАРНЫЕ	271
267	<b>П.В. Котенев.</b> ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕСТОМЕСИЛЬНОЙ МАШИНЫ В САПР AUTODESK INVENTOR 2013	272
268	<b>М.А. Коченков, О.Е. Сабилов, В.П. Круглов.</b> РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ, ДЛИНЫ И СКОРОСТИ (ПТК ТДС) ДВИЖУЩИХСЯ ЛИСТОВЫХ РУЛОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	273

#### **СЕКЦИЯ «АВТОМАТИЗАЦИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ И НЕПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СФЕРАХ»**

269	<b>Д.Н. Волков, Г.Г. Вилков.</b> ДЕКОМПОЗИЦИОННЫЙ РАСЧЕТ СЛОЖНЫХ РЕКТИФИКАЦИОННЫХ КОЛОНН	274
270	<b>А.В. Баталин, Е.А. Руденчик, Е.Г. Безрукова.</b> КАЛИБРОВКА УПРАВЛЯЕМОЙ СИСТЕМЫ СО МНОГИМИ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ	275
271	<b>И.И. Верлока, Г.Г. Вилков.</b> ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОТДЕЛЕНИЕМ ГАЗОРАЗДЕЛЕНИЯ КРУПНОТОННАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА ЭТИЛЕНА В СОСТАВЕ ЭП-300	276
272	<b>Д.А. Ивнев, Ю.В. Васильков.</b> ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТА	277
273	<b>П.А. Климов, А.Д. Боровков, В.Е. Тюленев.</b> АВТОМАТИЗАЦИЯ СБОРОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ НА ЛИНИИ СОМАУ	278
274	<b>А.С. Колодкина, О.Ю. Марьясин.</b> ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЕМ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ	279
275	<b>А.Е. Гузанова, А.С. Кузнецов, Е.А. Сидельников, А.В. Печаткин.</b> К ВОПРОСУ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ КАЛИБРОВКИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕПЛОВИЗИОННЫХ ПРИБОРОВ	280
276	<b>В.В. Кузьмин, М.П. Цыганков.</b> ДИАГНОСТИКА КИП МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ	281
277	<b>В.В. Кузьмин, М.П. Цыганков.</b> ДИАГНОСТИКА УТЕЧЕК ТРУБОПРОВОДОВ ПО ДАННЫМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ ДАВЛЕНИЙ	282
278	<b>А.А. Огарков, Д.И. Алиев, Ю.В. Васильков.</b> ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ СКЛАДА ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЕГО РАБОТОЙ	283
279	<b>К.А. Ракутин, Д.И. Алиев, И.И. Верлока.</b> КОМБИНИРОВАНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ РЕГУЛИРУЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ	284
280	<b>А.П. Смирнова, А.А. Огарков, Ю.В. Васильков.</b> ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СКЛАДА	285

281	<b>В.С. Федотов, Ю.В. Васильков.</b> АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ СКЛАДОМ	286
<b>СЕКЦИЯ «СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА»</b>		
282	<b>А.С. Асташкин.</b> СТАБИЛИЗАЦИЯ ГРУНТА	287
283	<b>А.Д. Баранник, А.В. Симонова.</b> ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ ПРОЕКТ «ДОРОГИ РОССИИ»	288
284	<b>М.В. Басков, А.В. Симонова.</b> АВТОМАТИЧЕСКАЯ АВТОЗАПРАВОЧ- НАЯ СТАНЦИЯ	289
285	<b>А.С. Букин, А.А. Игнатьев.</b> ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОРГАНИЗАЦИИ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ	290
286	<b>А.С. Казанов, А.А. Игнатьев.</b> УМЕНЬШЕНИЕ ШИРИНЫ ПОЛОСЫ ДВИЖЕНИЯ	291
287	<b>А.К. Кирсанов, А.В. Симонова.</b> АНАЛИЗ ЗАГРУЖЕННОСТИ ГОРОД- СКИХ УЛИЦ С ПОМОЩЬЮ ВЕБ-СЕРВИСА «ЯНДЕКС.ПРОБКИ»	292
288	<b>П.А. Клыков.</b> НАНОТЕХНОЛОГИИ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ	293
289	<b>Д.В. Коровин, А.А. Игнатьев.</b> САМОПОЯСНЯЮЩИЕ АВТОМОБИЛЬ- НЫЕ ДОРОГИ	294
290	<b>П.А. Куликов.</b> СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬСТВА ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ	295
291	<b>А.В. Огурцов.</b> ОКИСЛЕНИЕ АСФАЛЬТОБЕТОНА	296
292	<b>Г.М. Ремизов, Ф.В. Биренбаум.</b> ПРИМЕНЕНИЕ НЕТРАДИЦИОННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В МОСТОСТРОЕНИИ	297
293	<b>Е.А. Ронжин, А.В. Симонова.</b> ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ДОРОЖНОМ ХОЗЯЙСТВЕ	298
294	<b>А.Н. Рязанов, А.А. Игнатьев.</b> КЛОТОИДНОЕ ТРАССИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ РАЗВЯЗОК	299
295	<b>Н.В. Щелкачёв, Ф.В. Биренбаум.</b> ВАНТОВЫЕ МОСТОВЫЕ СООРУЖЕНИЯ	300
296	<b>М.В. Смыслов, А.В. Симонова.</b> СЕПАРАТОРЫ НЕФТЕПРОДУКТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД	301
297	<b>С.Н. Черпицкий.</b> ДРЕНИРУЮЩИЙ АСФАЛЬТОБЕТОН	302
298	<b>И.С. Тынянский, А.А. Игнатьев.</b> ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ	303
299	<b>Е.М. Веселкина, А.А. Игнатьев.</b> К ВОПРОСУ О РЕГУЛИРОВАНИИ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ В ДОРОЖНОЙ ОТ- РАСЛИ	304
300	<b>Ю.Е. Заломаева, А.А. Игнатьев.</b> ПРИМЕНЕНИЕ ШЛАКОВ В ОСНОВА- НИИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ	305
301	<b>Я.Е. Земсков.</b> ШУМОЗАЩИТНЫЕ ЭКРАНЫ	306
302	<b>Р.Б. Юлдашев, А.И. Ахременко.</b> РЕКОНСТРУКЦИЯ ОЧИСТНЫХ СО- ОРУЖЕНИЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ - СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ Г. МЫШКИН	307
303	<b>П.Ю. Ядрихинский, И.Б. Долженко.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНО- СТИ РАБОТЫ ДРЕНАЖНЫХ ТРУБ РАЗЛИЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ	308
304	<b>А.В. Сова, Ю.В. Бричанчук.</b> БЫТОВЫЕ ФИЛЬТРЫ ОЧИСТКИ ВОДЫ: ПОЛЬЗА ИЛИ ВРЕД?	309
305	<b>П.О. Смирнова, И.Б. Долженко.</b> ГАБИОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ В ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ	310
306	<b>В.Е. Смирнов, А.И. Ахременко.</b> ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЯРОСЛАВСКОЙ ОБЛАСТИ	311

307	<b>Е.А. Шитикова.</b> ОСОБЕННОСТИ УСТАНОВЛЕНИЯ ГРАНИЦ САНИТАРНО-ЗАЩИТНЫХ ЗОН ПРОМЫШЛЕННЫХ УЗЛОВ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ (МОДЕРНИЗАЦИИ) ПРОИЗВОДСТВА	312
308	<b>Т.А. Секарева.</b> МАЛЫЕ РЕКИ ЯРОСЛАВСКОГО ПОВОЛЖЬЯ	313
309	<b>В.В. Самсонников.</b> ПОЛЬДЕРНЫЕ СИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ	314
310	<b>И.А. Радионов, А.И. Ахременко.</b> БЕРЕГОУКРЕПЛЕНИЕ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В ЧЕРТЕ Г. МЫШКИН ЯРОСЛАВСКОЙ ОБЛАСТИ	315
311	<b>Н.И. Пикулина, А.Е. Бородин.</b> ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА АКУСТИЧЕСКУЮ СРЕДУ ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ (НА ПРИМЕРЕ ДЗЕРЖИНСКОГО РАЙОНА ГОРОДА ЯРОСЛАВЛЬ)	316
312	<b>А.А. Корнев, Н.А. Мухин.</b> ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ ЯРОСЛАВСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ	317
313	<b>В.А. Халаки.</b> ПОДТОПЛЕНИЕ НА ТЕРРИТОРИИ ЯРОСЛАВСКОЙ ОБЛАСТИ	318
314	<b>С.А. Грошева, Н.А. Мухин.</b> КАЧЕСТВО ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ЯРОСЛАВСКОЙ ОБЛАСТИ	319
315	<b>Г.С. Фатеев, Е.А. Михайлов.</b> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА БАЗЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА GPS-X	320
316	<b>Е.А. Елисеева.</b> ПЕРЕРАБОТКА БЕРЕГОВ ВОДОХРАНИЛИЩ ЯРОСЛАВСКОЙ ОБЛАСТИ	321
317	<b>Е.Н. Арсентьева, С.А. Афанасьева.</b> ОРГАНИЗАЦИЯ ЗОН САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТЬЕВОГО И ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ КАК ТЕРРИТОРИЙ ОСОБОГО РЕЖИМА ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА	322
318	<b>А.В. Максимович, Г.И. Касперов.</b> БАЗА ДАННЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ – ОСНОВА БЕЗОПАСНОСТИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ	323
319	<b>Ш.М. Аглиев, С.А. Тумаков.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЯ НА ТРАНСВЕРСАЛЬНО ИЗОТРОПНЫХ ГРУНТАХ	324
320	<b>Т.М. Мартьянова, С.А. Тумаков.</b> СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В СЛОЖНЫХ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЯХ	325
321	<b>А.А. Корнилова, Н.А. Жеребцова, А.Г. Путинцев.</b> КРОВЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ KALZIP	326
322	<b>Н.А. Жеребцова, А.А. Корнилова, А.Г. Путинцев.</b> КОНСТРУКЦИИ ПОКРЫТИЯ БОЛЬШОЙ ЛЕДОВОЙ АРЕНЫ	327
323	<b>В.О. Ракитина, К.А. Кузнецова, Л.И. Булгакова.</b> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИЗГИБАЕМЫХ ДЕРЕВЯННЫХ БАЛОК С ТРЕЩИНОЙ	328
324	<b>А.В. Киряткова, Л.А. Комина, Н.В. Михалевич.</b> МОНИТОРИНГ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ОПАЛУБКИ	329
325	<b>К.А. Орлова, М.С. Суслов, И.С. Казакова.</b> ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТАЛЬНОЙ БАЛКИ СОСТАВНОГО СЕЧЕНИЯ ПО ЕВРОКОДУ EN-3	330
326	<b>Н.Н. Сеницын, И.О. Белодонова, К.А. Шушкова.</b> РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ	331
327	<b>Р.М. Гаджиев.</b> ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ ДЛЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ	332

328	<b>Н.С. Воронин.</b> СУХИЕ СИЛОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ	333
329	<b>Ю.А. Насонова, А.С. Смирнова.</b> НАСОС ДЛЯ ФЛОТАТОРА ДВУХСТУПЕНЧАТЫЙ ПРОТОЧНОЙ	334
330	<b>А.А. Орлова.</b> УСТРОЙСТВО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА	335
331	<b>Д.В. Лебедев.</b> ИНЕРЦИОННЫЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА	326
332	<b>Д.В. Жмак.</b> СОВРЕМЕННЫЕ АСИНХРОННЫЕ И СИНХРОННЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ	337
333	<b>И.А. Созонтов.</b> ИЗМЕРЕНИЕ КООРДИНАТ ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ РЛС	338
334	<b>Г.В. Сидоренко.</b> АНАЛИЗ НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ МНОГОФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ	339
335	<b>П.Ю. Ядрихинский.</b> НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ. ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ НАСОСЫ	340
336	<b>К.Д. Рак.</b> БЕСЩЕТОЧНЫЙ СИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР	341
337	<b>О.А. Яковлев, А.Н. Беляев.</b> УСТРОЙСТВО ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ МОБИЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ	342
338	<b>Г.В. Квашнина.</b> ВЛИЯНИЕ ЁМКОСТИ НАКОПИТЕЛЯ НА ИЗМЕНЕНИЕ БЕЗОТКАЗНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ	340
339	<b>К.О. Матюшков, В.В. Даниленко, Д.В. Комардин.</b> ТРЕБОВАНИЯ К ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ СИСТЕМАМ СУДОВ	341
340	<b>А.А. Шевчук, О.Е. Хотянович.</b> УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ БЕТОНА ФЛЮАТИРОВАНИЕМ	342
341	<b>Т.В. Шаброва, Ш.М. Аглиев, М.А. Абрамов.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГАЛЬВАНОШЛАМА НА АДГЕЗИЮ БИТУМА К НЕОРГАНИЧЕСКИМ ВЕЩЕСТВАМ В АСФАЛЬТОБЕТОНЕ	343
342	<b>А.А. Талалаев, К.А. Разгуляева.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕТОНА В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР	344
343	<b>В.В. Конечнов.</b> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УСТРОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ МОНОЛИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ПОЛОВ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ	345
344	<b>Д.И. Головкина, А.В. Демехина, М.А. Абрамов.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА АСФАЛЬТОБЕТОНА НА ЕГО ПРОЧНОСТНЫЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	346
345	<b>И.А. Большаков, И.И. Лавров, М.А. Абрамов.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ И РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ ПОЛОВ	347
346	<b>А.И. Петров.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ МОРОЗОСТОЙКОСТИ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА	348
347	<b>С.В. Поздняков, Е.А. Мизина.</b> ИЗУЧЕНИЕ МОРОЗОСТОЙКОСТИ СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ	349
348	<b>А.А. Басова, М.А. Махов, Е.В. Нозикова.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРОПРОНИЦАЕМОСТИ МАТЕРИАЛА «ISO FLEX»	353
349	<b>М.Д. Громова.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕДИСПЕРГИРУЕМЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПОРОШКОВ НА МОРОЗОСТОЙКОСТЬ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА	354
350	<b>А.Е. Баронов, Ю.С. Затеева.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ НА КОРРОЗИОННЫЙ ИЗНОС БЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ	355



351	<b>В.Г. Иванова, Н.Ю. Виноградова, А.В. Горчакова.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА ОБЛЕГЧЕННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ С ДОБАВЛЕНИЕМ РПП НА ПАРОПРОНИЦАЕМОСТЬ	356
352	<b>Б.С. Морозов.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА МОРОЗОСТОЙКОСТЬ БЕТОНА	357
353	<b>В.А. Артемичев, О.А. Никешин.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗВЕСТКОВЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ С ОРГАНИЧЕСКИМ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ	358
354	<b>А.В. Гаврилов, А.Д. Алоян.</b> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕНОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ	359
355	<b>А.А. Виноградов, А.В. Воронцов, И.В. Гурина.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ НА СВОЙСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ СТЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ	360
356	<b>М.О. Атаманычева, К.С. Самойлова.</b> УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ	361
357	<b>И.С. Пинчук.</b> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕНОПОЛИСТИРОЛБЕТОНА	362
358	<b>А.В. Горчакова.</b> МОДИФИКАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ РЕДИСПЕРГИРУЕМЫМИ ПОЛИМЕРНЫМИ ПОРОШКАМИ	363
359	<b>Е.В. Нозикова.</b> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УСТРОЙСТВА КОМПЛЕКСНЫХ ПАРОИЗОЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ	364
360	<b>И.В. Гурина.</b> РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ МОДИФИКАЦИИ КЕРАМИЧЕСКИХ МАСС БИОПОЛИМЕРНЫМИ ДОБАВКАМИ	365

#### СЕКЦИЯ «ФИЗИКА И МАТЕМАТИКА»

361	<b>А.В. Андрищенко.</b> МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА КОМПЬЮТЕРНОЙ АППРОКСИМАЦИИ ДАННЫХ	366
362	<b>Н.С. Выборнов, М.Р. Аджоян.</b> ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛЯРИЗАТОРОВ В СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ	367
363	<b>А.Е. Гомонов.</b> ЦИКЛ КАРНО	368
364	<b>А.Н. Дубовик.</b> МАХОВИКИ В ТЕХНИКЕ	369
365	<b>Д.М. Иванов.</b> БЫСТРОЕ УМНОЖЕНИЕ МАТРИЦЫ С БОЛЬШИМ МУЛЬТИПЛИКАТИВНЫМ ПОРЯДКОМ НА ВЕКТОР НАД КОНЕЧНЫМ ПОЛЕМ	370
366	<b>А.А. Клепцов, А.Д. Голованов.</b> GPS-НАВИГАЦИЯ	371
367	<b>Е.В. Ковалева.</b> ГИРОСКОП	372
368	<b>И.В. Коледов.</b> ГИПОТЕЗА КВАРКОВ	373
369	<b>А.В. Кондратьева.</b> ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА НА ВОЛНОВОЕ ДВИЖЕНИЕ ЖИДКОСТИ, ПОКРЫТОЙ ПЛЕНКОЙ ПАВ	374
370	<b>А.С. Модин, А.В. Шарыпова, А.А. Коломоец.</b> ДИНАМИКА ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАГРУЖЕННОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ПРИ ПРЕРЫВНОМ ПЕРИОДИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ	375
371	<b>А.А. Очиров, И.А. Плевин, Д.Ф. Белоножко.</b> О СОВМЕСТНОМ ВЛИЯНИИ ВЕТРА И ПОВЕРХНОСТНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА НА ПЕРЕНОС ВЕЩЕСТВА В ИДЕАЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ	376
372	<b>Н.А. Петрушов.</b> НЕЛИНЕЙНОЕ РЕЗОНАНСНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВОЛН В СЛОИСТО-НЕОДНОРОДНОЙ ЖИДКОСТИ	377
373	<b>С.В. Плюснина.</b> ДИЗЕЛЬНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ	378
374	<b>Д.И. Поздеев.</b> ШАРОВЫЕ МОЛНИИ	379
375	<b>С.С. Поисеева.</b> ГРУППЫ С БОЛЬШОЙ СТЕПЕНЬЮ НЕПРИВОДИМОГО ХАРАКТЕРА	380

376	<b>В.В. Сиднева.</b> ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА. ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ	381
377	<b>К.А. Ситцова.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ ДИНАМИКИ ОДНОЙ МОДЕЛИ ЛАЗЕРА С СИНХРОНИЗАЦИЕЙ МОД	382
378	<b>Е.В. Тупикова, А.С. Модин, А.А. Колomoец.</b> СТОХАСТИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ПРИ ДЕЙСТВИИ НЕРАВНОМЕРНОГО ВНЕШНЕГО ДАВЛЕНИЯ	383
379	<b>М.С. Федоров.</b> О ВЛИЯНИИ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТЕЙ НА ВНЕШНИЕ И ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ	384
380	<b>В.В. Чижев.</b> ГЕНЕРАЦИЯ КРИПТОГАФИЧЕСКИСТОЙКИХ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ КРИВЫХ	385
381	<b>Д.Р. Шакиров, А.Г. Соломонов, А.В. Филатов.</b> ДИНАМИКА ОСЕДАНИЯ ЭРИТРОЦИТОВ В НЕОДНОРОДНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ	386
382	<b>А.А. Ширяев.</b> НЕЛИНЕЙНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ЗАРЯЖЕННОЙ КАПЛИ В ОДНОРОДНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ	387
383	<b>И.В. Шпак, В.В. Игнатенко.</b> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАБОТЫ ОДНОМАШИННЫХ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМ БЕЗ ЗАПАСА	388
384	<b>В.О. Юшин.</b> ЯВЛЕНИЕ ЦУНАМИ	389

#### **СЕКЦИЯ «ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И НАЗЕМНЫЙ ТРАНСПОРТ»**

385	<b>А.Н. Безбатченко, А.А. Павлов.</b> ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ ГАЗОПОРШНЕВОЙ УСТАНОВКИ	390
386	<b>Д.А. Ефиманова, А.А. Павлов.</b> ПРОЕКТ ВЫСОКОФОРСИРОВАННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПРИНУДИТЕЛЬНЫМ ЗАЖИГАНИЕМ ДЛЯ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ	391
387	<b>П.Е. Климов, А.П. Перепелин.</b> ПРОЕКТ ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ АККУМУЛЯТОРНОГО ТИПА ДЛЯ ДИЗЕЛЯ	392
388	<b>К.В.В. Топоров, А.П. Перепелин.</b> ПРОЕКТУ ТОПЛИВНОГО НАСОСА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ К ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЕ АККУМУЛЯТОРНОГО ТИПА	393
389	<b>А.А. Ахмеджанов, А.А. Павлов.</b> АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ПИРОЛИЗНЫХ И БИОГАЗОВ ДЛЯ РАБОТЫ КГУ В КАЧЕСТВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	394
390	<b>П.В. Волощенко, Л.Л. Иванов, Ю.Е. Хрящёв.</b> К ПРОБЛЕМЕ ПОВЫШЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ТОПЛИВА ПРИ ВПРЫСКИВАНИИ В БЕНЗИНОВЫХ И ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ	395
391	<b>А.А. Гомов, Ю.Е. Хрящев.</b> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ТОПЛИВОПОДАЧИ ДЛЯ ГАЗОДИЗЕЛЯ	396
392	<b>Р.В. Горшков, А.А. Павлов, А.В. Жаров.</b> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ПРОТИВОТОЧНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА, ПОЛУЧЕННЫХ ПО МЕТОДИКЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГИДРОГАЗОДИНАМИКИ И ПРАКТИЧЕСКОЙ МЕТОДИКЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ	397
393	<b>А.В. Гусаков, А.А. Павлов.</b> ПРОЕКТ РАСШИРИТЕЛЬНОЙ РОТОРНО-ЛОПАСТНОЙ ТУРБИНЫ ДЛЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ	398
394	<b>К.В. Дойников, Ю.Е. Хрящёв.</b> СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ СИЛОВЫМ АГРЕГАТОМ БОЛЬШЕГРУЗНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА	399
395	<b>А.Н. Евдокимов, А.В. Жаров.</b> ПОВЫШЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ОХЛАЖДАЮЩИХ НАНОЖИДКОСТЕЙ	400

396	<b>Д.А. Епанешников, Ю.Е. Хрящёв.</b> РЕГУЛЯТОР МИНИМАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ХОЛОСТОГО ХОДА С ФУНКЦИЯМИ АВТОПОДСТРОЙКИ ПРИ ПОМОЩИ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ	401
397	<b>А.М. Жуков, А.А. Павлов.</b> УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНВЕКТИВНОГО МЕХАНИЗМА ТЕПЛООБМЕНА ВОДЫ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ ГРАФЕНОМ	402
398	<b>В.Г. Комиссаров, А.В. Жаров.</b> ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ТОЛКАТЕЛЯ ДЛЯ ВЫСОКООБОРОТНОГО ТНВД	403
399	<b>А.В. Морозов, А.В. Жаров.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОТОРНЫХ МАСЕЛ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ГРАФЕНОМ	404
400	<b>А.В. Русаков, А.А. Павлов.</b> РАСЧЁТ ТОПЛИВНОГО НАСОСА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ	405
401	<b>А.П. Советов, Ю.Е. Хрящёв.</b> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ (КГУ) НА БАЗЕ ГАЗОПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ	406
402	<b>О.Н. Соколов, Ю.Е. Хрящев.</b> РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОННО-МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО ДИЗЕЛЯ	407
403	<b>М.В. Тихомиров, Ю.Е. Хрящев.</b> ОСОБЕННОСТИ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКОЙ	408
404	<b>В.С. Фавстов, А.А. Павлов.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ТЕПЛООБМЕННИКЕ-УТИЛИЗАТОРЕ ТЕПЛОТЫ ОТРАБОТАННЫХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЬНОЙ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА МЕТОДАМИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГИДРОГАЗОДИНАМИКИ	409
405	<b>Е.А. Абросимова.</b> ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАМЕР СГОРАНИЯ ВИХРЕВОГО ПРОТИВОТОЧНОГО ТИПА НА НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОМ ТОПЛИВЕ	410
406	<b>С.В. Грибков, И.С. Веригин.</b> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛНОЙ СТРУКТУРЫ КОЭФФИЦИЕНТА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ В ТРУБЧАТОМ ВИХРЕВОМ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРЕ (ВТГ)	411
407	<b>А.И. Лежнёв, И.С. Веригин.</b> О ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ В ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ	412
408	<b>А.И. Лежнёв, И.С. Веригин.</b> О СОВРЕМЕННОМ СОСТОЯНИИ ПИРОЛИЗНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЁРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ (ТБО), ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АСПЕКТ	413
409	<b>А.И. Лежнёв, И.С. Веригин.</b> О СОВРЕМЕННОМ СОСТОЯНИИ ГАЗИФИКАЦИИ В ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЁРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ (ТБО), ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АСПЕКТ	414
410	<b>А.Ю. Малинкина, И.С. Веригин.</b> РАЗРАБОТКА ТЕПЛОВОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ МИНИ-ТЭЦ НА БАЗЕ ДВС С ПОЛНЫМ ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ СГОРАЕМОГО В ДВС ТОПЛИВА В ТЕПЛОВУЮ	415
411	<b>Г.Н. Проскура, Е.А. Лебедев, И.С. Веригин.</b> К ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМУ ИССЛЕДОВАНИЮ ВИХРЕВОГО РОТОРНОГО ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА (ВТГ) НА ОСНОВЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТУРБОМУФТЫ КАМАЗ-5320	416
412	<b>А.О. Рыбаков, И.С. Веригин.</b> О СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДАХ ПЕРЕРАБОТКИ И ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ БЫТОВОГО И ПРОИЗВОДСТВЕННОГО МУСОРА (ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АСПЕКТ)	417
413	<b>О.С. Сидорова, И.С. Веригин.</b> К ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМУ АНАЛИЗУ УРАВНЕНИЯ БЕРНУЛЛИ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ МОДУЛЬНОМ ВИХРЕВОМ ТРУБЧАТОМ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРЕ (ВТГ) В СИСТЕМЕ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ	418

414	<b>И.Н. Харитонов, И.С. Веригин.</b> РАЗРАБОТКА ТЕПЛОВОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ МИНИ-ТЭЦ НА БАЗЕ ПАРОВОЙ ПРОТИВОДАВЛЕНЧЕСКОЙ ТУРБИНЫ И ВИХРЕВОГО ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА (ВТГ) С ОТКРЫТОЙ СИСТЕМОЙ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ	419
415	<b>И.С. Басалов, В.П. Тимашов, Б.С. Антропов.</b> КОНВЕРТАЦИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ В СУДОВОЙ	420
416	<b>Д.С. Голиков, С.Г. Кондаков.</b> СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМОБИЛЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПЕШЕХОДА ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ	421
417	<b>А.С. Карпов, И.С. Тюремнов.</b> МОДЕРНИЗАЦИЯ ВИБРАЦИОННОГО ВАЛЬЦА КАТКА DM-62	422
418	<b>А.В. Морозова.</b> ОБОРУДОВАНИЕ БУЛЬДОЗЕРА-ПОГРУЗЧИКА	423
419	<b>М.О. Новиков, Д.В. Фурманов.</b> ДИСКОВЫЙ НОЖ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ	424
420	<b>А.А. Новичихин, И.С. Тюремнов.</b> ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ МЕТОДИКИ ОБОСНОВАНИЯ ВЫБОРА ВИБРОПЛИТЫ ДЛЯ УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТА	425
421	<b>Ж.Ж. Сайфиддинов, Д.В. Фурманов.</b> МЕТОДЫ РАЗРУШЕНИЯ И УТИЛИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ	426
422	<b>Д.И. Трошин.</b> НАКОПИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛУСФЕРИЧЕСКИХ ОТВАЛОВ БУЛЬДОЗЕРОВ	427
423	<b>И.Н. Федотова, И.С. Тюремнов.</b> К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ	428
424	<b>И.С. Филатов, А.С. Морев, И.С. Тюремнов.</b> К ВОПРОСУ ОБОСНОВАНИЯ ЗНАЧЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЖЕСТКОСТИ И ВЯЗКОСТИ ГРУНТА ПРИ РЕОЛОГИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА УПЛОТНЕНИЯ	429
425	<b>Д.В. Фурманов, Е.В. Курилов.</b> ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИСКОВОГО СВОБОДНОВРАЩАЮЩЕГОСЯ НОЖА ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ ШВОВ В АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЯХ	430
426	<b>Н.Д. Эралиев, Д.В. Фурманов.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ ЛЕДЯНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ С ПОВЕРХНОСТИ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ	431

---

Научное издание

Компьютерная верстка и подготовка оригинал-макета  
М.А. Канакотина, Л.С. Кокина

План 2014

Подписано в печать 7.04.2012. Формат 60х84 1/16. Бумага белая.  
Печать ризограф. Усл. печ. л. 26,26. Уч.-изд. л. 26,06.  
Тираж 90. Заказ

Ярославский государственный технический университет  
150023, Ярославль, Московский пр., 88

Типография Ярославского государственного технического университета  
150000, Ярославль, ул. Советская, 14а